

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술촉진연구사업 제1차년도 최종보고서

발간 등록 번호
11-1613000-001539-01

R&D /
15CTAP-C105986

“하천 식생활착으로 인한 흐름영향 변화 및 하상변화” 분석 및 해결을 위한 국제세미나 최종보고서

2016. 10. 7.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

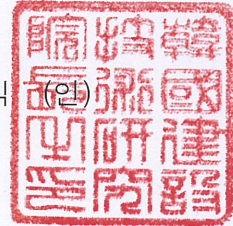
제 출 문

국토교통부 장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

“하천 식생활착으로 인한 흐름영향 변화 및 하상변화” 분석 및 해결을 위한 국제세미나’(연구
개발 기간 : 2015.12.10 ~ 2016.08.09) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2016. 10. 7

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 이 태 식



주관연구기관책임자: 류 용 욱

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP -C105986	해당 단계 연구 기간	2015.12.10.~ 2016.08.09	단계구분	(1차년도)/ (1차년도)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	“하천 식생활착으로 인한 흐름영향 변화 및 하상변화” 분석 및 해결을 위한 국제세미나			
연구책임자	류 용 욱	해당단계 참여 연구원 수	총: 5 명 내부: 5 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 32,000천원 기업: 천원 정부외:20,000천원 계:52,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 5 명 내부: 5 명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 32,000천원 기업: 천원 정부외:20,000천원 계:52,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원 수자원하천연구소			참여기업명	
국제공동연구	상대국명: 네덜란드			상대국 연구기관명: Deltares	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수	
- 국외의 수치적인 기술과 국내의 실험적인 기술을 융합하여 관련분야의 세계적 네트워크 형성과 기술교류를 통한 국제적 수준의 하천 계측 기술의 보유 목적.				- 73면	
- 유럽의 경우 Deltares를 중심으로 식생과 하천흐름 관계에 대한 연구가 활발하게 수행 중이므로 국가 간 연구 협력은 국제적 수준의 하천 계측 기술을 국내 연구진들이 확보할 수 있는 좋은 기회가 됨.					
- 국제적 수준의 기관인 Deltares와 기술협력 세미나 및 회의 개최를 통한 기술의 선진화 및 국제기술협력 네트워크 강화하고 국내 하천의 기술수준을 알림과 동시에 국내외 관련 기술의 공동활용 및 새로운 연구과제 도출의 위한 기회 마련.					
- Deltares와 연구네트워크를 토대로 국제공동연구를 확대할 수 있는 기반을 마련.					

연구의 목적 및 내용	- 본 연구로 도출되는 기술을 통해 효율적인 하천계측 방법과 식생 성장과 변화, 그리고 하천흐름에 대한 영향에 대한 다양한 발표와 토론과 함께 네덜란드의 하천에서 식생에 의한 영향을 방문하여 확인하고 네덜란드의 하천관리기술을 습득하고자 함. - Deltares에서 추진 중인 식생 산정을 위한 연구과제와 관련한 국내 하천기술을 소개하여 공동으로 참여할 수 있는 기회를 마련함. - 본 연구과제에서는 국내 연구진이 방문하여 Deltares 및 델프트공대의 연구자를 대상으로 세미나를 개최하고 공동연구 추진 연구자와 세부연구협의를 통해 후속 연구를 실제화함. - 본 연구주제에 높은 기술을 보유한 아이다호대학 연구진을 공동연구 그룹에 참여시키고자 한국건설기술연구원 하천실험센터에서 세미나를 개최하여 아이다호 대학과 국내의 하천기술을 공유함.				
연구개발성과	- 하천 관리를 위한 식생활착 대응기술 이해 - 선진국의 하천관리기술에 있어 생태학적 접근방법 이해 - Deltares, 델프트공대, 아이다호대학과 식생활착 영향평가를 위한 국제공동연구 네트워크 구축 - 네덜란드 정부지원과제인 TKI Project에서 상대국으로 참여하여 위상 증대 - 초분광 영상을 이용한 식생분석 기술 습득 - 아이다호대학의 NSF 기초공동연구 참여				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 기후 및 환경에 의한 하천 식생의 변화를 해석하는 데 필수적인 유량과 하천 흐름의 변화, 계측기술 개발은 국가 수자원 정책 수립의 기반기술로 활용이 가능. - 본 연구의 결과로 도출 예상되는 하천 식생 변화 연구는 하천 환경 변화에 대한 대응방법을 마련하고 하천복원을 위한 식생연구의 기초 기술로 적극적인 활용이 가능할 것으로 기대. - 국제 기술 협력을 통한 소프트웨어 개발로 연구의 국제화 및 상업화도 가능. - 최근 미국을 비롯한 전 세계적으로 하천 환경 및 식생에 대한 연구는 주요 연구주제이므로 본 연구를 통해 국제적 수준(SCI(E)급)의 저널에 다수 논문 발간이 가능. - 본 행사를 통해 향후 하천환경 및 식생 분야에 대한 국제공동 네트워크 시스템과 협력 체계를 구축하고 이는 국내 연구진의 주도적인 역할 수행을 위한 기반이 될 것으로 판단함.				
핵심어 (5개 이내)	하천	식생	실규모 실험	수치해석	하상

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	- This project is to share expertise about river measurement techniques, river vegetation characteristics, and influence of vegetation on river flows and river bed and obtain advanced technologies on Dutch rivers from Deltares through international seminars. - Using the interactive seminar with Deltares, a chance of collaboration was sought by showing Korean technologies on river management. - The international seminar targets scientists and engineers of Deltares and Delft University of Technology and consists of specified sessions for practical discussion for future collaboration. - As an effort to expand the collaboration research group, the second seminar was held in the River Experiment Center of Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology inviting experts from University of Idaho.				
Results	- Understanding of river management considering vegetation - Understanding of ecological approaches for river management - Relationship and network for potential collaboration on river vegetation researches with Deltares, TU Delft and University of Idaho - Acquisition of spectral imaging techniques for vegetation assessment - Participation to TKI Project supported by Dutch government as a partner - Participation to the proposal to an international NSF project for a fundamental research with University of Idaho				
Expected Contribution	- It is possible to apply outcomes from the seminar and following collaboration to predict river changes with vegetation due to changes of climate and environments. - The outcomes can be used as a technique to cope with dramatically changed river environments, especially with prevalent vegetation. - Numerical models and software related to the topic of this project can be developed based on international cooperation. - There is a possibility to make productible outcomes such as publications and patents because not many studies leads the area. - With presentations and discussion, Korean researchers can lead cooperation works on vegetation effects in fluvial environments.				
Keywords	river	vegetation	real scale experiment	numerical analysis	river bed

< **Table of Contents** >

1. Outline of the seminar	1
2. Technology development status	13
3. Contents and achievements of the seminar	17
4. Goal achievements and contributions to related fields	51
5. Plan of the use of the achievements	53
6. Scientific and technical information collected in the seminar ..	55
7. Security level of research and development outputs	59
8. Research facility and apparatus enrolled in NTIS	61
9. Safety procedures and accomplishments in the seminar	63
10. Report of leading and partner institutions for the seminar	65
11. Others	67
12. References	69

< 목 차 >

1. 행사 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	13
3. 행사 수행 내용 및 성과	17
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	51
5. 행사성과의 활용 계획	53
6. 행사 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	55
7. 연구개발성과의 보안등급	59
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	61
9. 행사 수행 과정에서의 안전 조치 이행 실적	63
10. 행사에 대한 주관연구기관 및 상대국 참여기관 의견서	65
11. 기타 사항	67
12. 참고 문헌	69

제1장. 행사 개요

1. 행사명

가. 행사 1

- Deltares-KICT Seminar: Interaction between vegetation patchiness and river hydraulics

나. 행사 2

- Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar: Invitational seminar of University of Idaho for the joint project between KICT and Deltares

2. 행사 주제

- 본 행사의 주제는 하천 내 식생이 활착하면서 발생하는 흐름 및 하상의 변화를 분석하여 발생할 수 있는 문제에 대응할 수 있는 기술을 공유 및 개발하기 위한 행사로서 세계적 수준의 국제기관(Deltares)과 기술협력을 위한 국제세미나 및 회의를 통해 국내기술을 홍보하고 선진기술을 보완하며 공동연구를 위한 연구네트워크를 구축하는데 있음
- Deltares와 국제세미나를 통한 기술교류를 확대하고자 공동연구에 참여의사가 있는 미국 Idaho대학의 연구진을 초청하여 해당 분야의 연구성과 및 방향을 공유하여 연구네트워크를 확대하고자 함

3. 행사 일시 및 장소

가. 행사 1 : Deltares-KICT Seminar

(1) 일시

- 2016년 3월 21일 ~ 3월 25일 (4박 5일)

(2) 장소

- 행사 장소는 Deltares의 Delft본원과 Utrecht분원으로 Delft 본원은 Deltares의 주요연구진들이 근무하고 있고 주요 연구시설을 보유하여 Deltares 연구진의 세미나 참석 및 실험시연에 적합하며, Deltares와 나란히 위치하고 있는 Delft공대의 연구진을 초청하기 유리한 장소임. Deltares Utrecht분원은 공동연구기간동안 Deltares측에서 제안하고 있

는 TKI Project의 주요시설이 위치하여 세부적인 연구발표 및 협의, 그리고 장비시연을 위해 적합하고 Utrecht분원의 연구진을 세미나에 초청하기에 적절함

- Field Trip 장소는 Waal River로서 네덜란드의 중심부에서 서부해안으로 연결되는 주요 하천으로서 하천정비, 생태서식지 조성, 홍수대비를 위한 하천관리를 종합적으로 확인할 수 있는 하천이며, 관리 수로국인 Water Authority Rivierland in Tiel을 방문하여 하천을 포함한 수자원의 종합적 관리방식을 소개받음



그림 1-1. Deltares Delft Campus



그림 1-2. Deltares Utrecht Campus

나. 행사 2 : Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar

(1) 일시

- 2016년 6월 08일 ~ 6월 10일 (2박 3일)

(2) 장소

- 행사 장소는 한국건설기술연구원 (이하 건설연) 및 하천실험센터로서 Idaho대학 연구진과 국내연구진이 실질적인 연구결과 및 방향을 협의할 수 있고, 공동연구 대상지인 하천실험센터의 실규모 시설을 직접 방문하고 예비실험을 수행하고자 함



그림 1-3. 한국건설기술연구원 하천실험센터

4. 주최자

○ 본 행사의 주최자는 주관연구기관인 건설연의 류용욱 수석연구원과 상대국기관인 Deltares의 Ellis Penning 박사로서 각각 수공구조물 및 실험계측 분야와 생태 및 하천 식생 분야의 연구를 수행해 왔으며, 주요 정보는 아래 표와 같음

표 7-1. 주최자 정보

구분	한국	네덜란드
성명	류용욱	Ellis Penning
생년월일	1974. 06. 23	
소속	한국건설기술연구원	Deltares
직위	수석연구원	책임연구원
직장주소	경기도 고양시 일산서구 고양대로 283	Postbus 177, 2600 MH Delft, The Netherlands
전화	054-843-1808	+31(0)883358468
H.P	010-9109-7372	+31(0)619300745
E-mail	yuryu@kict.re.kr	Ellis.Penning@deltares.nl
주요 연구분야	수공구조물, 실험계측	생태학, 하천식생

5. 참석대상 및 참석인원

가. 참석대상

○ 본 행사의 참석대상은 Deltares-KICT Seminar의 경우 건설연 방문연구진, Deltares의 물분야 연구진, Delft공대 하천 및 식생분야 연구진을 대상으로 하였으며, Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar의 경우 국내 하천식생 분야의 연구진을 대상으로 행사를 개최하였음

나. 참석인원

○ 네덜란드에서 진행된 Deltares-KICT Seminar의 경우 건설연 연구진 5명, Deltares 연구진 25명, Delft공대 연구진 및 학생 10명, 네덜란드 수자원 컨설팅회사인 KnowH2O 연구진 5명 등 약 40 여명이 참석하였으며, Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar의 경우 건설연 연구진 20명, 국내 대학 연구진(교통대, 고려대, 한밭대 등) 10명, 국내 연구기관(자연과 기술) 연구진 5명 등 약 35명이 참석하였음

표 1-8. 행사 참석자 현황

	성명	소속	직업
행사 1	한국건설기술연구원	5명	연구원
	Deltares	약 25명	연구원
	TU Delft	약 10명	교수, 연구원, 학생
	KnowH2O	5명	연구원, 기술원
행사 2	한국건설기술연구원	약 20명	연구원
	교통대, 고려대, 한밭대	약 10명	교수, 학생
	자연과 기술	5명	연구원

6. 주요 참석자

가. 발표자

표 1-9. 발표자 정보

	성명	소속	부서
한국	류용욱	한국건설기술연구원	수자원·하천연구소
	강준구	한국건설기술연구원	수자원·하천연구소
	정상화	한국건설기술연구원	수자원·하천연구소
	이동섭	한국건설기술연구원	수자원·하천연구소
	지 윤	한국건설기술연구원	수자원·하천연구소
상대국	Ellis Penning	Deltares	Delft
	Bas van Vossen	Deltares	Delft
	Rik Noorlandt-Austen	Deltares	Utrecht
	Mike van der Werf	Deltares	Utrecht
	Koen Berends	Deltares, Univ of Twente	-
	Valesca Harezlak	Deltares, Univ. of Utrecht	-
	Ge van den Eerwegh	KnowH2O	-
	Erik Mosselman	TU Delft, Deltares	Civil Engineering Dept.
	Wijnand Ijzermans	TU Delft	Civil Engineering Dept.
	Marloes Wittebrood	TU Delft	Civil Engineering Dept.
	Andrew Tranmer	Univ. of Idaho	Center of Ecohydraulic Research
	Elowyn Yager	Univ. of Idaho	Center of Ecohydraulic Research

나. 좌장

- 류용욱 (건설연)
- Ellis Penning (Deltares)

다. 주요 참석자

- 여홍구 (건설연)
- 이두한 (건설연)

- 강준구 (건설연)
- 이동섭 (건설연)
- 정상화 (건설연)
- 지운 (건설연)
- Ellis Penning (Deltares)
- Bas van Vossen (Deltares)
- Mike van der Werf (Deltares)
- Rik Noorlandt-Austen (Deltares)
- Koen Berends (Deltares, University of Twente)
- Valesca Harezlak (Deltares, University of Utrecht)
- Ge van den Eerwegh (KnowH2O)
- Erik Mosselman (Delft University of Technology, Deltares)
- Wim S.J. Uijttewaai (Delft University of Technology)
- Wijnand Ijzermans (Delft University of Technology)
- Andrew Tranmer (University of Idaho)
- Elowyn Yager (University of Idaho)

7. 프로그램

가. 행사 1 - Deltares-KICT Seminar: Interaction between vegetation patchiness and river hydraulics

(1) Session 1: Cooperation between KICT and Deltares

- Ellis Penning "Joint project on vegetated flows between KICT and Deltares"
- Bas van Vossen "International relationship of Deltares with Asia"
- Yong-Uk Ryu "Real scale experiments at the River Experiment Center, KICT"
- Un Ji "River morphology studies of KICT"
- Erik Mosselman "Safety against flooding: Room-for-the-River measures"
- Discussion

(2) Session 2: Field Trip

- Waal River, Waardenburg
- Water Authority Rivierland, Tiel

(3) Session 3: Effect of Vegetation on River Flows

- Joon-Gu Kang "Flow pattern inside and outside vegetation patches with alternating placement"
- Ellis Penning "The link between vegetation patchiness and river hydraulics"
- Sang-Hwa Jung "Composite suitability index for physical habitat analysis using ANFIS method"
- Valesca Harezlak "Ecological aspects of Dutch collaboration research program for optimal river management, River Care"
- Discussion
- Wijand Ijzermans "Impact of seasonal undergrowth on hydraulic models"
- Dong Sop Rhee "Effect on river habitat change by small dam removal considering vegetation"
- Un Ji "Roughness coefficient analysis on vegetated flows in the large scale channel"
- Koen Berends "River dynamics of a vegetated condition in Delf3D"
- Marloes Witterbrood "Theoretical backgrounds of fluvial hydraulics"
- Yong-Uk Ryu "Experiment plan of 2016: alternating vegetation patches and new design of cross-sectional patches"
- Discussion

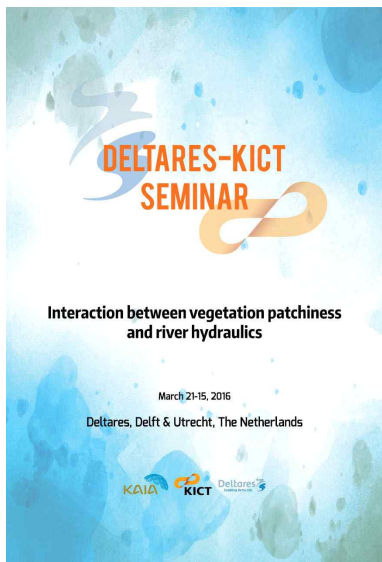
(4) Session 4: TKI Dotter Project

- Ellis Penning "Introduction of the TKI dotter project"
- Ge van den Eerwegh "Monitoring of aquatic vegetation for hydraulics and ecological targets by hyperspectral sensor using UAV"
- Dong Sop Rhee "Hydraulic resistance of vegetation in open channel flows"
- Rik Noorlandt-Austen "TKI-Dotter experimental settings and software design"
- Mike van der Werf "Demonstration of Spectral Image measurements on UAV"

- Discussion for 2016 plan

(5) Session 5: Future Cooperation

- Ellis Penning "Inviting more groups to the joint project: University of Idaho, Deltares"
- Rik Noorlandt-Austen "Plan of experiments and seminar at KICT"
- Discussion for future cooperation
- Yong-Uk Ryu "Finishing the seminar"



DELTAIRES-KICT SEMINAR

Interaction between vegetation patchiness and river hydraulics

March 21-15, 2016

Deltares, Delft & Utrecht, The Netherlands

KAIA KICT Deltares

International Seminar between KICT & Deltares
- Interaction between vegetation patchiness and river hydraulics -

Seasonal development of vegetation in streams and rivers can introduce enlarged flow obstruction, and increased flood risk upstream of dense vegetation patches. At the same time vegetation is a natural aspect of flowing waters and valued for its ecological services and provision of habitat for other organisms. Vegetation roughness has been an important topic for several decades because of the effects vegetation can have on water conveyance. For example, when plants grow in floodplains of regulated rivers, they can seriously hamper conveyance of water during high discharge conditions. During these conditions, safety against flooding may be at risk, possibly affecting thousands of people and businesses in the areas adjacent to the rivers. As floodplains of rivers are more and more valued because of the ecosystem services they have to offer knowledge is required to optimize those ecosystem service at one hand and guarantee safety against flooding at the other hand.

Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology (KICT) and Deltares have been working on the interaction between vegetation and open channel flows and organize this seminar to discuss results and advance the cooperation for future works with the financial support from Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport (KAIA International Cooperation Project) and Dutch Minister of Economic Affairs (TKI Project). The seminar consists of presentations, discussions and field trips with intent to share from fundamental theories to empirical experiences. We welcome scientists and engineers interested in the topic and international cooperation in Deltares and Technical University of Delft as well as KICT.

Yong-Uk Ryu, KICT
Ellis Penning, Deltares



PROGRAMS

Session 1: Cooperation between KICT and Deltares 3.21 (Mon), Deltares Delft

13:30 | Ellis Penning "Joint project on vegetated flows between KICT and Deltares"

14:00 | Bas van Vossen "International relationship of Deltares with Asia"

14:30 | Yong-Uk Ryu "Real scale experiments at the River Experiment Center, KICT"

15:00 | Un-Ji "River morphology studies of KICT"

15:30 | Coffee Break

16:00 | Erik Mosselman "Safety against flooding: Room-for-the-River measures"

17:00 | Discussion

Session 2: Field Trip 3.22 (Tue), Waardenburg, Tiel

9:00 | Waal River, Waardenburg

12:00 | Lunch

14:00 | Water Authority Riverland, Tiel

Session 3: Effect of Vegetation on River Flows 3.23 (Wed), Deltares Delft

9:30 | Joon-Gu Kang "Flow pattern inside and outside vegetation patches with alternating placement"

10:00 | Ellis Penning "The link between vegetation patchiness and river hydraulics"

10:30 | Sang-Hwa Jung "Composite suitability index for physical habitat analysis using ANFIS method"

11:00 | Valesca Harezak "Ecological aspects of Dutch collaboration research program for optimal river management, River Care"

11:30 | Discussion

12:00 | Lunch

13:30 | Wijand Ijzermans "Impact of seasonal undergrowth on hydraulic models"

14:00 | Dong Sop Rhee "Effect on river habitat change by small dam removal considering vegetation"

14:30 | Un-Ji "Roughness coefficient analysis on vegetated flows in the large scale channel"

15:00 | Koen Berends "River dynamics of a vegetated condition in Delft"

15:30 | Coffee break

16:00 | Marloes Witterbrood "Theoretical backgrounds of fluvial hydraulics"

16:30 | Yong-Uk Ryu "Experiment plan of 2016: alternating vegetation patches and new design of cross-sectional patches"

17:00 | Discussion

Session 4: TKI Dotter Project 3.24 (Thu), Deltares Utrecht

9:30 | Ellis Penning "Introduction of the TKI dotter project"

10:00 | Ge van den Eerwegh "Monitoring of aquatic vegetation for hydraulics and ecological targets by hyperspectral sensor using UAV"

10:30 | Coffee break

11:00 | Dong Sop Rhee "Hydraulic resistance of vegetation in open channel flows"

11:30 | Rik Noorlandt-Austen "TKI-Dotter experimental settings and software design"

12:00 | Lunch

13:30 | Mike van der Werf "Demonstration of Spectral Image measurements on UAV"

15:30 | Coffee break

16:00 | Lunch

Session 5: Future Cooperation 3.25 (Fri), Deltares Utrecht

9:30 | Ellis Penning "Inviting more groups to the joint project: University of Idaho, Deltares"

10:00 | Rik Noorlandt - Austen "Plan of experiments and seminar at KICT"

10:30 | Discussions for future cooperation

11:00 | Yong-Uk Ryu "Finishing the seminar"

ORGANIZATION

KICT

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Yong-Uk Ryu, Ph.D.
Joon-Gu Kang, Ph.D.
Dong Sop Rhee, Ph.D.
Sang-Hwa Jung, Ph.D.
Un-Ji, Ph.D.

Deltares

Ellis Penning, Ph.D.
Bas van Vossen
Mike van der Werf
Rik Noorlandt - Austen
Koen Berends
Valesca Harezak
Wijand Ijzermans
Marloes Witterbrood

KnowH2O

Ge van den Eerwegh, Ph.D.

TU Delft

Delft University of Technology

Erik Mosselman, Ph.D.

KICT

Isan Campus

283, Gyang-daero, Iseon-gu, Gyeonggi-do, Rep. of Korea
Tel. +82-31-9100-114

Andong Campus

942, Agok-gil, Namhu-myeon, Andong-si, Gyeongangbuk-do, Rep. of Korea
Tel. +82-54-843-1801

Deltares

Delft Campus

Boussinesqweg 1, 2629 HV Delft
P.O. Box 177
2600 MH Delft
Tel. +31-(0)88-335-8273

Utrecht Campus

Prinsvrietlaan 5-8, 3584 CB Utrecht
P.O. Box 85467
3508 AL Utrecht
Tel. +31-(0)88-335-7775

그림 1-4. 행사 프로그램 - Deltares-KICT Seminar: Interaction between vegetation patchiness and river hydraulics

(6) 행사 진행 사진



그림 1-5. 행사 진행 및 발표

(7) 행사 프로그램 운영

- 본 행사는 Deltares와 건설연이 공동으로 주관하는 행사로서 그 대상을 Deltares 전문 연구진과 Delft공대, Utrecht대학 연구진을 설정하였음. 이는 본 연구과제가 지속적인 국제공동연구를 진행하고 확대하기 위한 지원과제이기 때문에 일반연구진을 대상으로 한 홍보성 연구가 아닌 실질적 연구수행과정을 소개하고 연구주제를 공유하고자 하는 목적으로 결정하였음
- 발표자의 구성은 양 기관의 균형을 고려하여 결정하였고, 행사 프로그램은 공동협력, 공동연구, 추진 중인 연구과제 계획, 향후 연구로 구성하여 건설연측과 Deltares측이 각 기관의 담당부분을 각자 준비하여 종합하는 형태로 추진하였음
- 운영비 측면에서는 건설연 측에서 방문여비와 1회의 회의비를 지출하였으며, 세미나 및 Field Trip에 관한 기타 모든 비용은 Deltares에서 지출하고 준비하였음

나. 행사 2 - Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar: Invitational seminar of University of Idaho for the joint project between KICT and Deltares

(1) Session 1: Introduction of Large View River Design

- Yong-Uk Ryu "International joint project with Deltares and University of Idaho"
- Andrew Tranmer "Optimality Theory to Guide Functional River Design"
- Elowyn Yager "Improving predictions of hazards and sediment transport in headwater streams"

(2) Session 2: Experimental Approaches for River Evolution Mechanism

- Andrew Tranmer "Braided channel and river evolution"
- Elowyn Yager "The geomorphic significance of vegetation"
- Un Ji "Numerical simulations of morphological changes over vegetated flows"
- Sang-Hwa Jung "Field observation and laboratory experiments of hyporheic flows"
- Yong-Uk Ryu "Experiment plan over the meandering channel of the River Experiment Center"
- Tele-meeting with Deltares

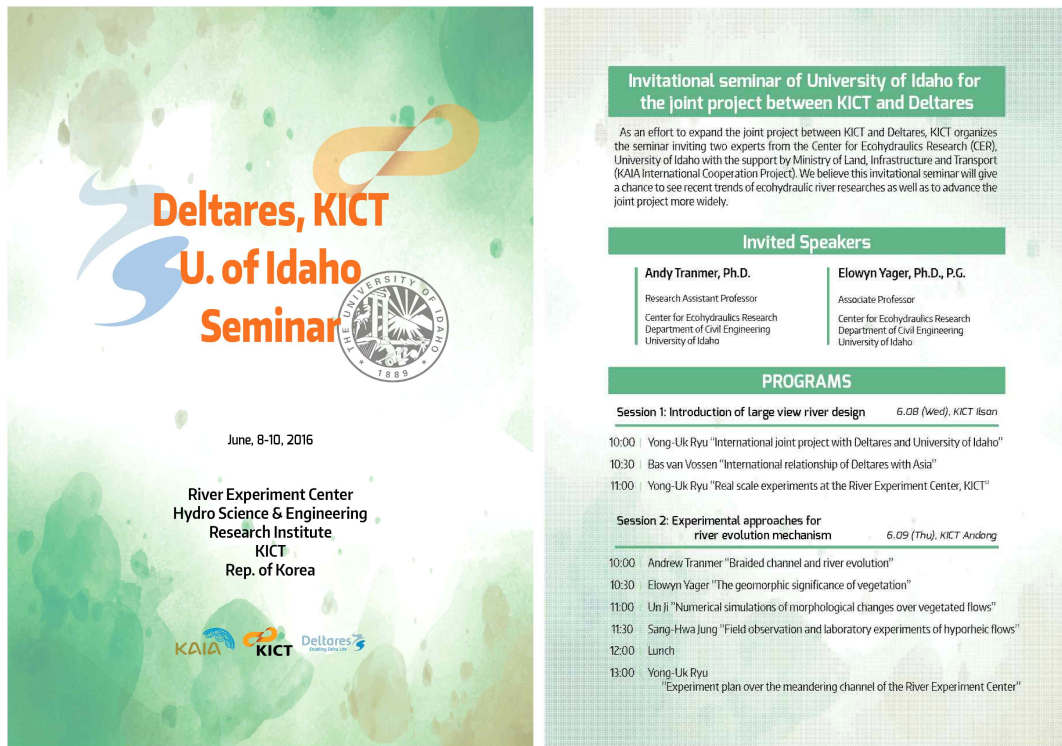


그림 1-6. 행사 프로그램 - Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar: Invitational seminar of University of Idaho for the joint project between KICT and Deltares

(3) 행사 프로그램 운영

- 본 행사는 Idaho대학의 연구진을 Deltares와 건설연의 공동연구에 참여시키고자 추진한 행사로서 건설연이 주관하였고, Idaho연구진의 초청하여 세미나를 개최하였음. 행사 대상은 건설연 연구진을 위주로 하였으며, Deltares 수치모형 연구경험이 있는 국내연구진도 참석하였음
- 행사 프로그램은 각 기관 소개, Idaho대학의 식생연구 및 하천발달연구 소개, 하천실험센터 식생연구현장 방문, NSF제안연구 협의로 구성
- Idaho대학 연구진의 방문여비는 Idaho대학에서 지출하였으며, 건설연에서는 초청연구진을 위한 전문가 활용비 및 이동경비를 지출하였음

(4) 행사 진행 사진



그림 1-7. 행사 진행 및 발표

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 하천식생활착 기술 현황

- 하천은 생물서식처로써 매우 중요한 기능을 담당하고 있지만 국내하천은 하천의 생태적 기능을 도외시하고 공학적 기능만을 강조한 토지이용으로 대부분 인공화 되고 있는 현실이며, 하천 내 식생역의 확장 및 감소는 흐름의 변화를 가져오고 불안정한 하상변동의 원인이 되므로 식생역의 발달과정 연구와 관리방법의 요구가 높아지고 있음(Yeo et al., 2004; Kang and Choi, 2006)
- 유량 변화에 따른 식생변화와 사주생성, 홍수기와 비홍수기의 반복에 의한 토양특성의 변화 등의 발생 메커니즘을 규명할 필요가 있음(Lee et al., 2012)
- 또한 수변공간과 관계된 환경 정비 및 수변 생태계를 확보하는 일은 자연과 생물다양성의 보전이란 측면에서 매우 중요하므로 수변 환경 중에서도 특히 하천식물의 생육 특성을 고려한 유속변화에 대한 연구는 반드시 필요함(Song, 2004)
- 식생은 하천 및 홍수터에서 추가적으로 운동량을 감소시키며 이를 해석하기 위하여 운동량 방정식에서 식생에 의한 항력 및 저항을 고려한 항이 반드시 필요하며 이 항에는 식생의 크기, 밀도, 강성도 등 식생의 특성을 포함해야 함(Tsujimoto, 1999)
- 식생 연구는 축척이 어렵고 자연 특성을 반영해야하기 때문에 자연형 실험실규모 실증실험을 통한 식생변화와 하천 흐름의 관계를 연구할 필요가 있으며 하도변화에 대한 메커니즘 분석이 수행되어야 함
- 식생연구는 실험실규모 실험이 요구되는 환경에서 대부분 현장측정으로 연구가 진행되어오고 있으며 생태적, 환경적 기능을 고려할 수 있는 반면 외부조건을 변수인자로 적용하는데 한계가 있어 일반화된 결과를 얻기에는 어려움이 있음
- 하천 내 식생연구 중 하천흐름에 관한 영향은 단순한 생태학이나 수리학으로 접근이 어렵고 다양한 학제간 융합적인 관점에서 접근이 필요하며, 기타 인자의 변화에 의한 영향을 이론 및 물리적 현상에 근거한 실험 계획을 수립할 필요가 있음
- 한국건설기술연구원 하천실험센터는 유량 및 하상조건을 조절할 수 있으며 유량조건에 대한 식생 변화를 측정할 수 있는 다양한 장비(3D scanner, Drone, ADV, ADCP, Gopro 등)들을 갖추고 있음
- 또한 탁수, 침수 등에 대한 하천식물(버드나무속 식물)의 성장변화에 대한 연구를 이미 수행한 바 있으며 하천 식물의 내침수성 및 성장률에 대한 연구결과를 확보하고 있음



(a)



(b)

그림 2-1. 홍천강의 식생상태 변화: (a) 1998, (b) 2015년

2. 국외 하천식생활착 기술 현황

- 식생활착에 의한 하천 내 흐름변화에 관한 연구는 일본과 유럽국가에서 다양하게 진행되어 있으며, 일본의 경우 소규모 실험과 함께 수치모의에 관한 연구를 수행해오고 있는 반면 유럽은 공동연구로서 식생실험을 기초실험부터 현장조사까지 다양한 규모의 연구를 개별적으로 수행한 후 결과를 종합적으로 분석하여 많은 결과를 도출하고 있음
- 일본의 대표적인 연구인 Tsujimoto (1999)에서는 유량의 변화는 세립토 공급과 조립토의 변화를 가져오며 이는 식생 활착에 영향을 미치며 식생피복의 면적을 증가 시킬 수 있으며, 연속적인 홍수에 의해 식생사주(vegetated sandbars) 주변에 유사의 퇴적이 발생한다는 것을 확인하였으며 이에 따라 식생사주는 길이, 폭 방향으로 확장한다는 것을 확인함
- 현재 유럽의 경우, 유럽연합의 지원을 받아 진행 중인 연구공동체 HYDRALAB에서 다양한 식생연구가 진행 중에 있으며 유럽의 여러 국가가 참여하여 중복성을 최소화하고 다양한 축척 및 인자를 고려할 수 있도록 실험계획을 수립하여 진행함(Baptist et al., 2004, 2006, 2007; Crosato and Saleh, 2011; Thomas et al., 2014)
- 특히, Deltares(네덜란드)를 중심으로 식생과 하천흐름 관계에 대한 연구가 활발하게 수행 중이므로 국가 간 연구 협력은 국제적 수준의 하천 계측 기술을 국내 연구진들이

확보할 수 있는 좋은 기회가 될 것이며 좀 더 다양한 국제공동연구가 가능할 것으로 기대됨.

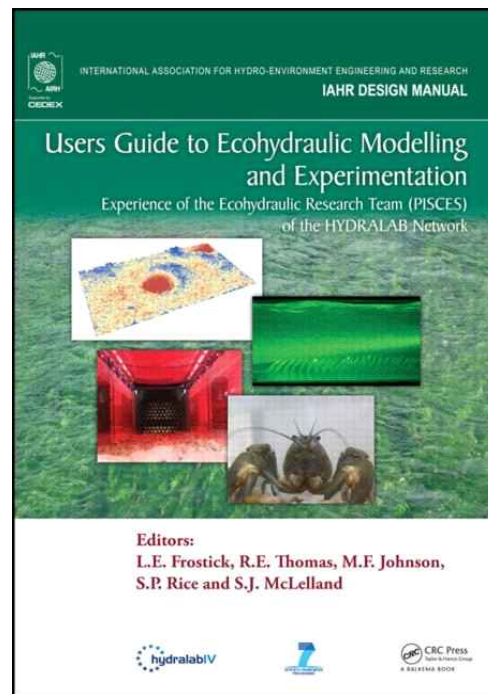


그림 2-2. Hydralab에서 공동으로 출간한 생태수리학 전문서적: Users Guide to Ecohydraulic Modelling and Experimentation

제3장. 행사 수행 내용 및 성과

1. 행사 수행 내용

가. 행사 1 - Deltares-KICT Seminar: Interaction between vegetation patchiness and river hydraulics

(1) Session 1: Cooperation between KICT and Deltares

- Ellis Penning "Joint project on vegetated flows between KICT and Deltares"
 - Deltares와 건설연이 공동으로 추진 중인 연구 소개
 - 하천 식생에 의한 하천흐름 및 하상 변동 연구 소개
 - 식생에 의한 하천 흐름 변화에 의한 개념적인 현상 설명
 - 건설연 하천실험센터와 공동연구에 따른 실규모실험 가능성 및 장점 소개



그림 3-1. 식생실험을 위한 식생활착

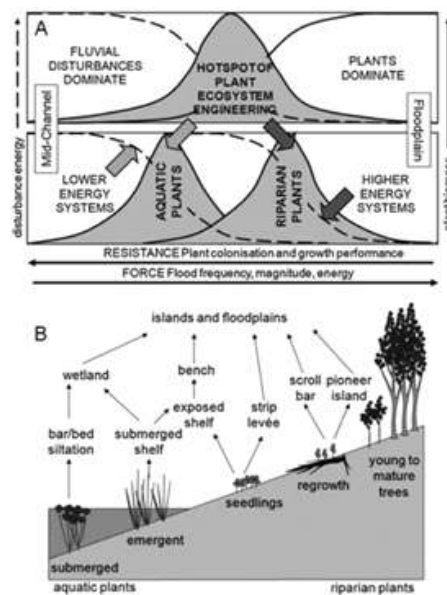


그림 3-2. 식생에 따른 영향 개념도 (Gurnell, 2014)

○ Bas van Vossen "International relationship of Deltares with Asia"

- Deltares 기관 소개
- Deltares에서 추진 중인 연구 및 전문 연구 분야 설명
- 아시아 국가와의 국제협력연구 및 수행과제 소개
- 한국 기관과의 연구사례 소개
- 건설연과 연구추진 과정 및 향후 방향 기대

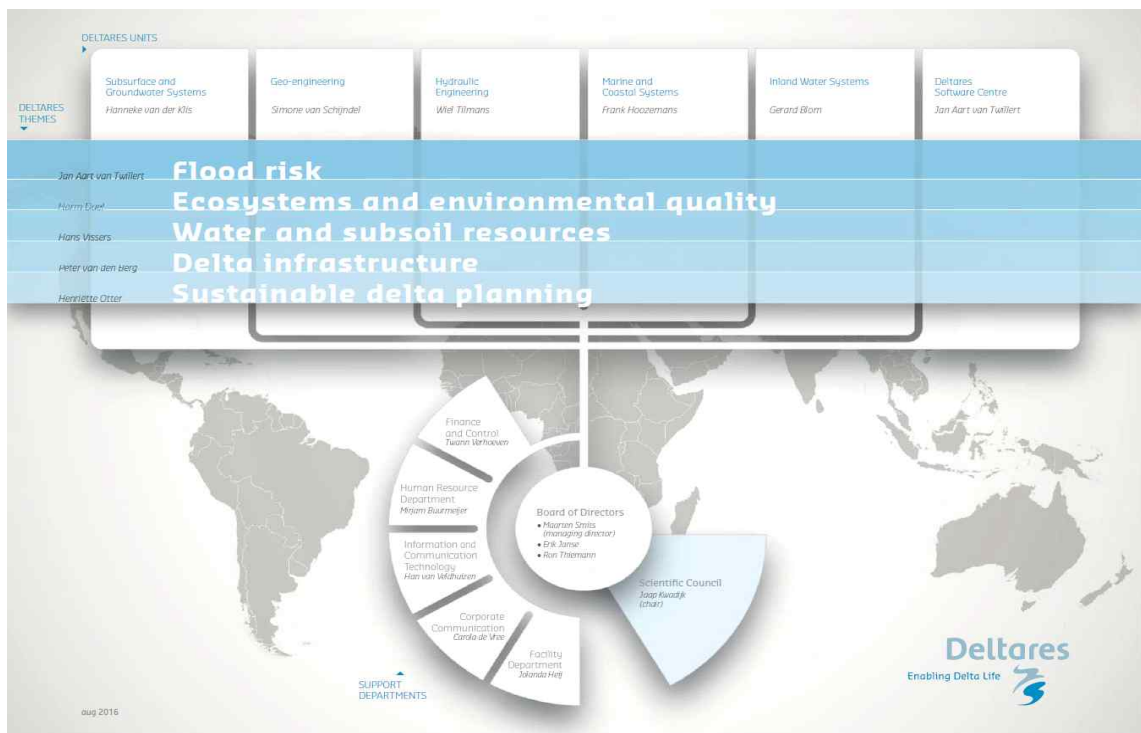


그림 3-3. Deltares 연구조직 매트릭스



그림 3-4. 하천실험센터를 방문한 Deltares 공동연구 추진팀

○ Yong-Uk Ryu "Real scale experiments at the River Experiment Center, KICT"

- 하천실험센터의 자연형 대형수로를 활용한 식생연구계획 및 사전연구 소개
- 식생연구 추진시 반영하였던 인자산출 방안 및 기존 식생배치 근거 설명
- 수로 내 식생배치 및 측정방법 소개
- 3축 측정을 대상으로 하는 유속측정, 하상측정, 수위측정, 유량측정, 식생특성 측정



그림 3-5. 하천식생 배치 드론촬영 사진

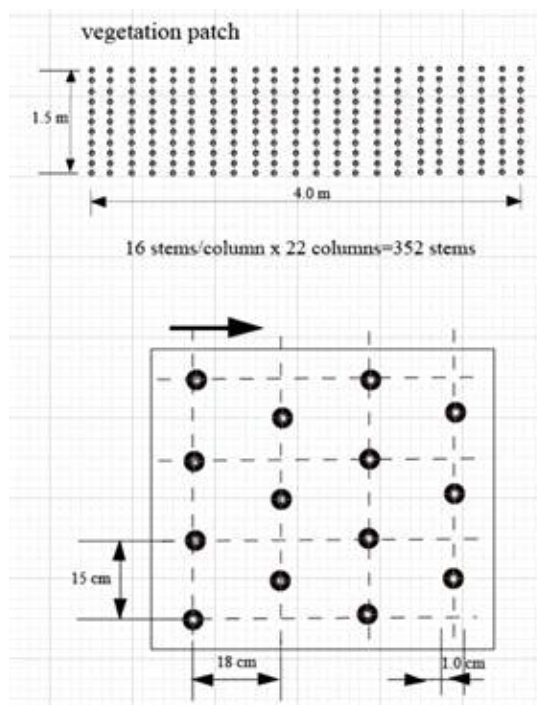


그림 3-6. 식생패치의 버드나무 배치 간격

○ Un Ji "River morphology studies of KICT"

- Deltares 및 네덜란드 연구기관의 연구진을 대상으로 국내 하상변동 연구를 소개
- 청미천을 대상으로 수행하였던 하천복원사업에 관한 연구방법 및 복원과정을 소개하여 국내의 하상변연구 사례를 제시
- 안정수로경사 및 수심을 만족하기 위한 유사이동 및 민감도 분석 연구 수행
- 안정하도설계를 위한 알고리즘 소개

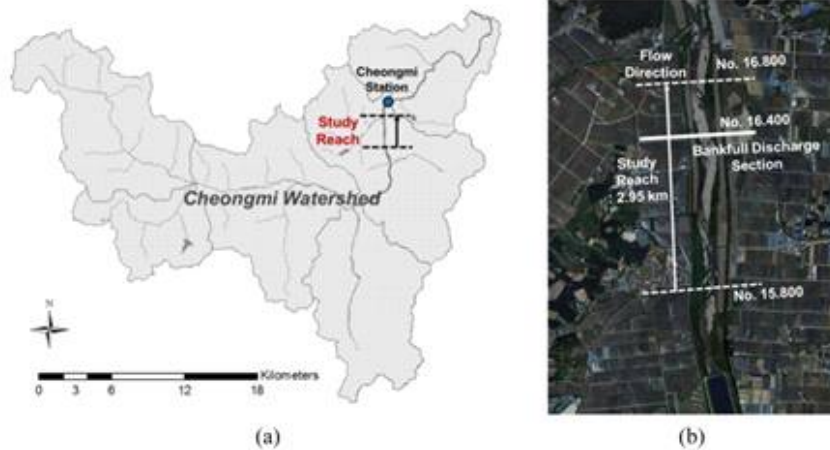


그림 3-7. 청미천 유역과 대상 구간: (a) 청미천 유역, (b) 청미천 대상 구간

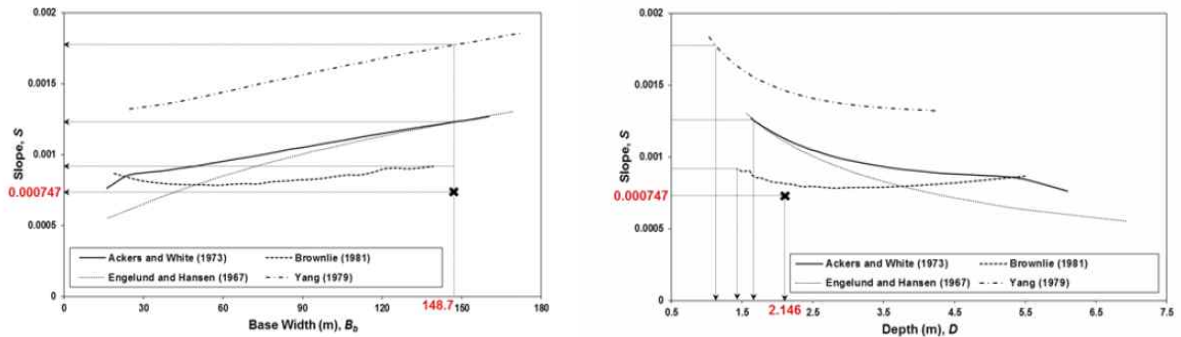


그림 3-8. 안정하도설계 결과비교: (좌) 안정경사와 너비 관계, (우) 안정경사와 수심 관계

○ Erik Mosselman "Safety against flooding: Room-for-the-River measures"

- 2006년 네덜란드 의회에서 승인한 네덜란드의 국가 주요 정책 프로젝트로 2015년 전에 모든 사업이 완료될 수 있도록 2008~2013년 동안 Deltares에서 수행
- 이 프로젝트는 네덜란드의 주요 하천을 대상으로 홍수 피해 가능성을 경감시키는 것이 목적이며, 특히 1995년에 Rhine강에서 발생한 홍수로 주민 250,000명이 피난한 것이 프로젝트가 시작한 계기로, 이를 통하여 2015년에 네덜란드 전체 국가하천의 통수능 16,000 m³/s을 달성하는 것이 목표
- 1D(SOBEK) 및 2D(WAQUA) 수치 모형을 통한 수리 모델링을 통하여 프로젝트로 예상되는 효과를 분석, 각 지자체에서 제안한 홍수 경감 방안을 과학적으로 평가하여 합리적인 합의를 도출할 수 있는 방법을 제공

- 각 지구별, 각 지자체별로 제시한 방안에 대한 홍수 방어 기준선(baseline)을 수치 모형을 통하여 가능성을 검토한 후 실제 영향을 받는 사람들이 선택할 수 있도록 제공

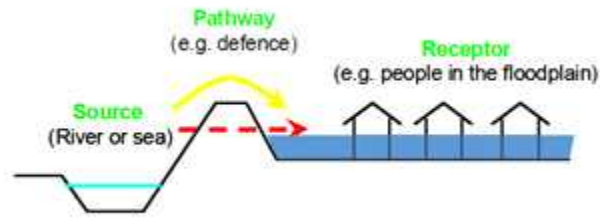


그림 3-9. 홍수방지를 위한 Room-for-the-River measures



그림 3-10. 홍수터를 포함한 시범사업 구간

○ Discussion of Session 1

- 각 기관의 대표적이고 일반적인 연구를 소개하여 연구관심 및 방향을 이해하고자 하였으며, 이에 관한 질문과 토의를 진행: Deltares기관은 정부지원을 받고는 있으나 독립된 기관으로 성장하고 있으며 연구과제의 경우 학술적인 연구 및 정부지원 과제 그리고 상용화에 근접한 연구를 수행하고 있어 건설연의 기관 성격과 유사하며 따라서 수행과제의 상호이해가 높다는 것을 파악, 향후 연구방향 설정에 있어 유효한 내용을 교류함
- 건설연과 Deltares간의 공동연구 방향에 대한 견해를 나누고, Delft공대와 같이 Deltares와 긴밀한 관계를 유지하는 기관과의 협력도 확대: Deltares는 학술적 연구의 보완을 위해 주변에 위치한 Delft공대와 긴밀한 연구네트워크를 확대하고 있으며, 이는 공동연구 방향설정에 중요한 부분으로 인식함. 본 공동연구 주제에 실험실규모 연구경험이 다양한 Wim SJ Wijnstewal교수를 공동연구에 적극적으로 참여하고자 함.
- 2014년 안동하천실험포럼으로부터 시작된 공동연구네트워크를 지속적으로 발전시킬 수 있는 방안에 대해 협의: 공동연구를 단기적인 이벤트적 행사가 아닌 추후 장기적인 교류로 확대하고자 하는 공통적 희망을 교류하고 각 기관의 방안을 모색.

(2) Session 2: Field Trip

○ Waal River, Waardenburg

- 네덜란드의 중심부와 서부해안을 연결하는 대하천으로서 운하 운영 및 홍수방지, 생태계 보전 등 다양한 이슈 등이 적용되고 있는 네덜란드 대표하천이 Waal River를 방문하여 하천관리 현장을 견학함
- 하천의 홍수터에 자리잡고 있는 다양한 식생을 관찰하고 자연생태계 보전을 위한 목적과 홍수시 제방관리 및 월류를 방지하기 위한 식생관리 방안에 대한 네덜란드의 노하우를 현장방문을 통해 습득
- 운하로 활용되는 강의 특성으로 인해 양안의 침식 및 퇴적문제가 발생하는데 이를 방지하기 위한 방안으로 흐름방향으로 평행하게 제방댐을 설치하여 항주파에 의한 침식을 저감하는 방안을 적용
- 하천 내 장시간 퇴적에 의해 형성된 사주구간의 활용방안 및 홍수시 대처방안 견학



그림 3-11. 버드나무가 활착한 홍수터



그림 3-12. 하천 양안을 보호하기 위한 횡방향 및 종방향 제방



그림 3-13. 사주 양안 및 네덜란드의 전형적인 수로 수위 관리를 위한 수문장치

○ Water Authority Rivierland, Tiel

- 네덜란드 수로국 중 하나인 Water Authority Rivierland를 방문하여 하천부터 상하수도까지 종합적으로 관리하는 운영방안을 담당자인 Juette Cortes로부터 소개받음
- 수로국은 일반적인 하천 및 수자원 관리와 함께 R&D를 연구기관에 의뢰하여 장기적으로 발생하는 문제에 대해 선제적으로 대응함
- 금번 Deltares에서 추진하는 TKI Project에도 부분적으로 관여하고 있으며 공동연구에서 실용화를 담당하고 있는 KnowH₂O와 긴밀한 협력관계임



그림 3-14. Water Authority Rivierland 소개 및 방문 촬영

(3) Session 3: Effect of Vegetation on River Flows

○ Joon-Gu Kang "Flow pattern inside and outside vegetation patches with alternating placement"

- 2015년도 수행한 하천실험센터 내 수로 내 식생실험 결과 소개
- ADV와 ADCP를 이용하여 측정한 결과를 상호 비교하여 측정기법의 장단점을 제시
- 식생구간의 경우, 신호방해로 인해 ADV만이 적용가능하며 ADV를 이용하여 측정한 결과를 토대로 식생패치의 내부 및 외부의 흐름 특성을 보여줌
- 식생 내 유속분포는 식생구간 내 흐름분포를 이해할 수 있는 자료로 활용이 가능

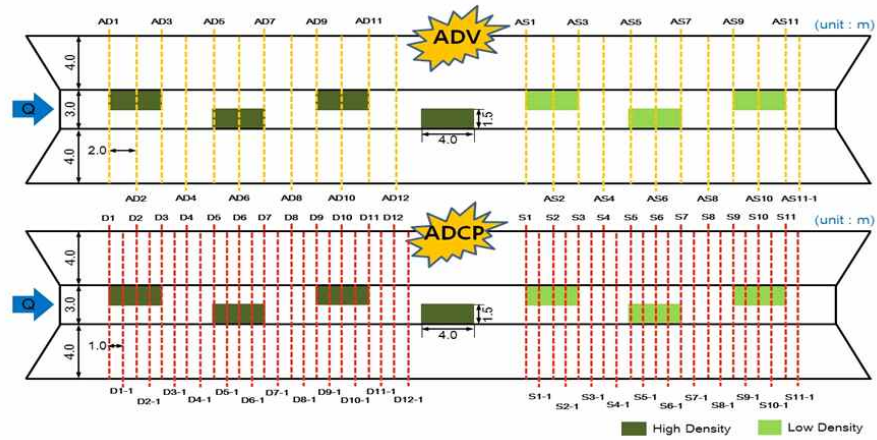


그림 3-15. 식생구간 ADV 및 ADCP 측정지점

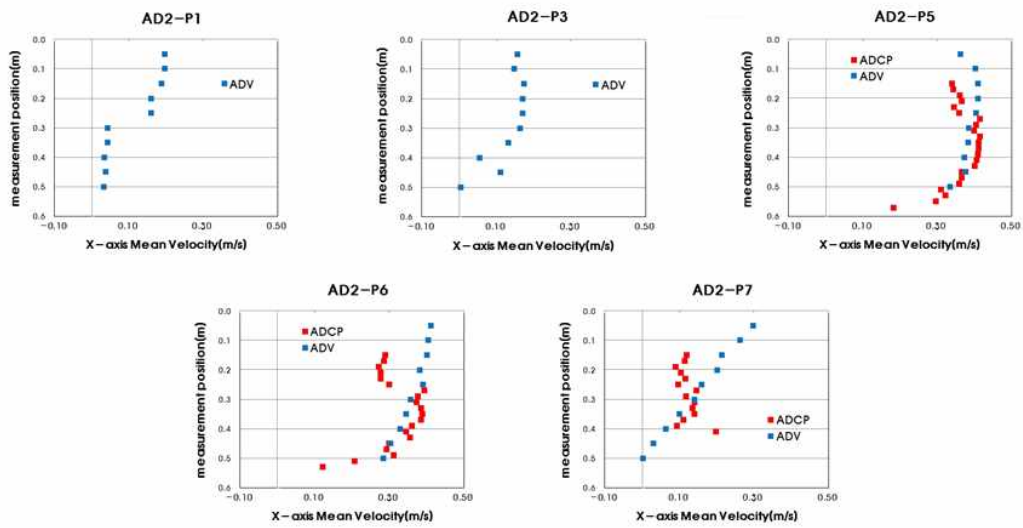


그림 3-16. 식생구간 ADV 및 ADCP 결과 비교

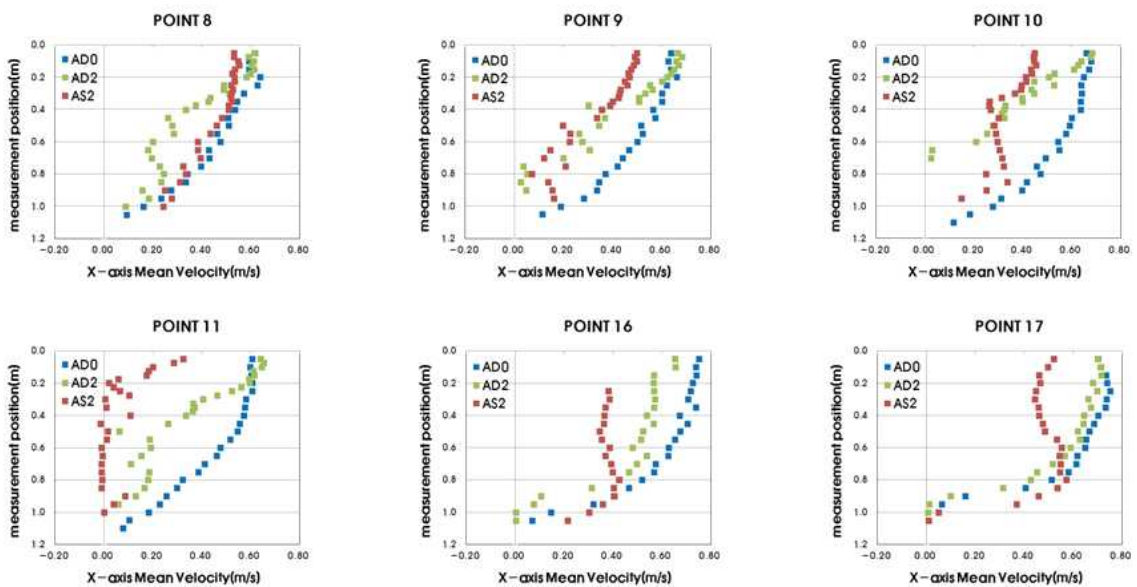


그림 3-17. 식생구간 내외부 ADV결과 비교

○ Ellis Penning "The link between vegetation patchiness and river hydraulics"

- 식생에 의한 흐름변화에 관한 실험연구를 활용하는 다각적인 방안을 제시
- 식생특성을 면밀히 분석하고 이와 흐름변화의 상관관계를 유도하는 방안을 제시
- 흐름저항의 분석을 위해 실험군의 항력을 고려한 유속변화 필요 제시
- 사주 위치와 유사한 식생 배치에 따른 흐름특성의 해석에 대한 고민이 필요하며 비교군에 대한 면밀한 특성분석 필요성 제시
- 향후 Delft3D모형의 식생모듈의 검증을 위한 자료로 활용할 수 있는 방안

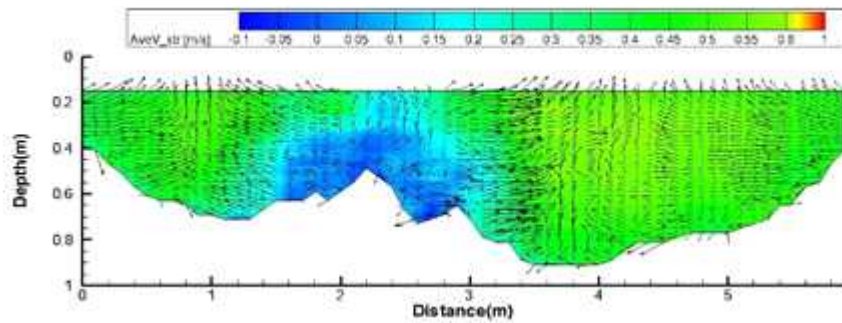


그림 3-18. 식생주변 유속파일 분포



그림 3-19. 식생주변 유속파일 분포

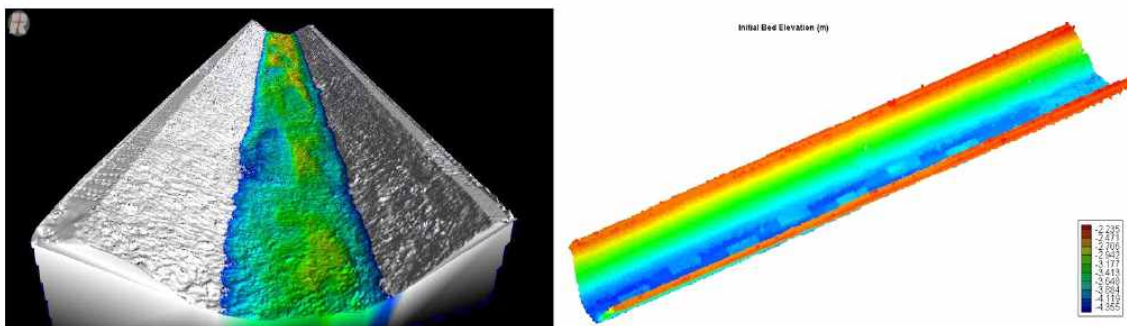


그림 3-20. 3D 스캐너를 이용한 하상변동 결과

○ Sang-Hwa Jung "Composite suitability index for physical habitat analysis using ANFIS method"

- 물리 서식처 분석을 위한 적합성인자 모의방법 제시
- 본 공동연구에서 수행하고 있는 식생실험을 통해 얻어진 결과와 이를 토대로 일정 영역을 대상으로 한 3차원 모델링을 수행하여 얻은 결과를 다시 서식처분석에 활용 할 수 있음
- ANFIS기법을 이용한 수치해석방법으로서 서식처분석을 위한 공학적 접근방안으로 적용이 상대적으로 용이하여 활용도가 높을 것으로 기대
- 국내 하천을 대상으로 한 Case study를 제시하여 높은 적용성을 보여줌

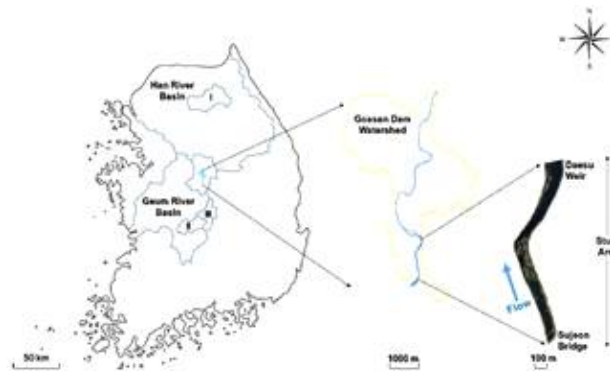


그림 3-21. 적용대상인 달천 유역과 세부조사구간

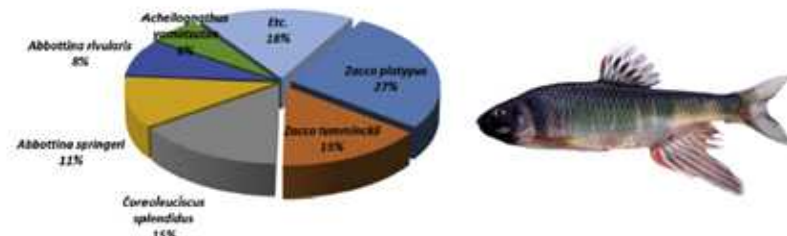


그림 3-22. 어류 조사 결과

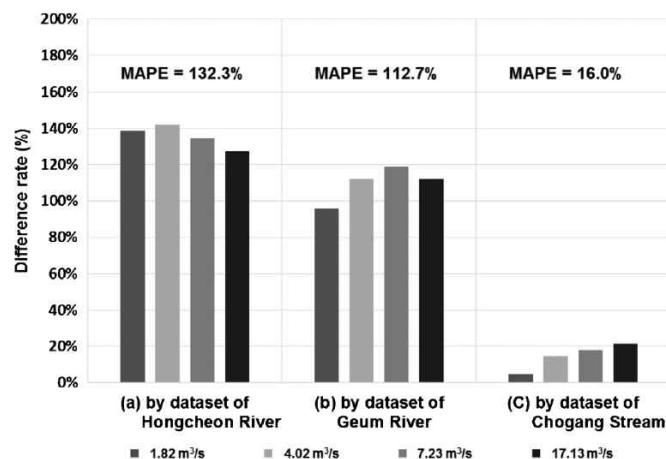


그림 3-23. 달천의 가중사용가능구간 비교: (a)홍천강, (b)금강, (c)조강천

○ Valesca Harezlak "Ecological aspects of Dutch collaboration research program for optimal river management, RiverCare"

- 네덜란드의 20여개의 연구기관이 공동으로 추진하는 하천종합관리연구과제인 RiverCare에 대해 소개하고 네덜란드의 하천관리에 관한 공동연구사례를 소개
- 하천의 종합적 관리를 목적으로 출범된 과제로서 수리, 수문, 환경, 생태, 하상 등을 종합적으로 수행하고 이를 Integrated한 종합모델로 발전시키고자 함
- RiverCare에 참여하고 있는 Valesca Harezlak이 과제 특성을 소개하고 Deltares와 건설연간의 공동연구를 접목 가능성에 대해서 제시하고 협의

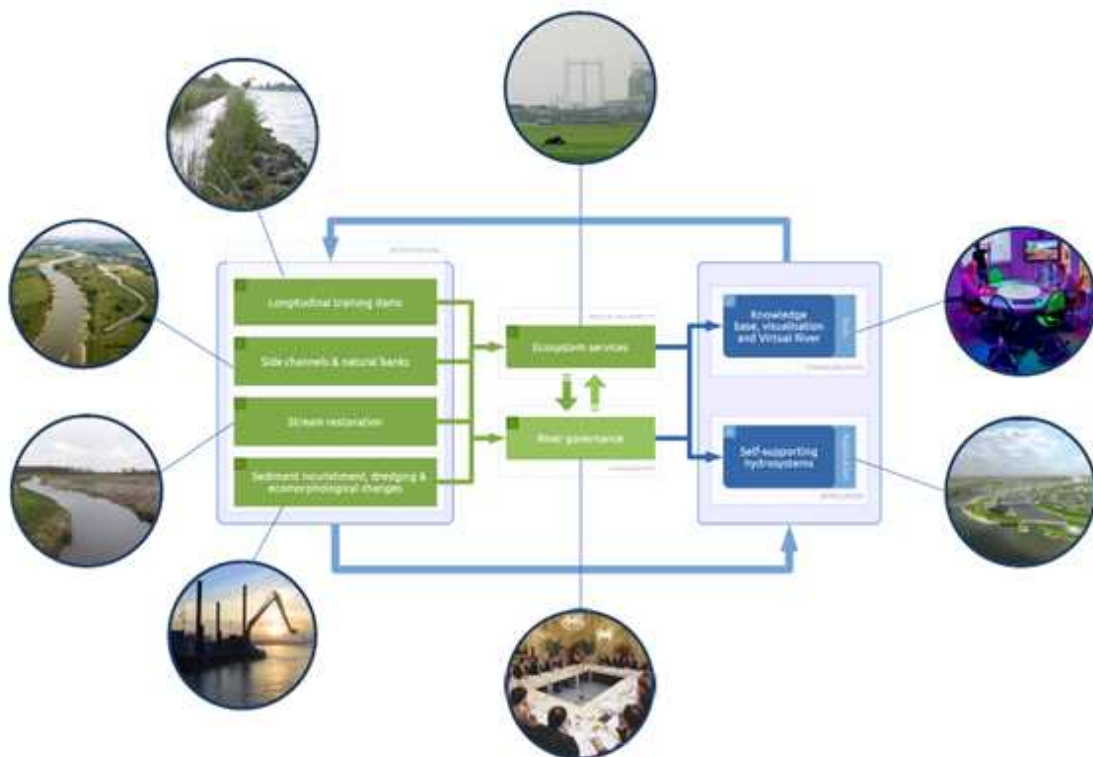


그림 3-24. RiverCare 조직도

○ Wijand Ijzermans "Impact of seasonal undergrowth on hydraulic models"

- 하천실험센터에 단기 실습생으로 방문하였던 Delft공대 학생연구생의 연구발표로서 방문연구시 수행하였던 항력측정 결과와 버드나무의 하부잡목의 유무에 의한 영향을 검토한 연구를 소개함
- 실험에서 얻어진 결과를 토대로 Delft3D를 이용한 수치모의를 수행하여 실험결과와 수치모의 결과를 비교하고 잡목의 유무에 따른 결과를 비교함
- Delft3D를 활용한 결과는 실험결과와 유사한 경향을 보였으며 수치모형의 적용성을 증대시키는 연구를 수행함

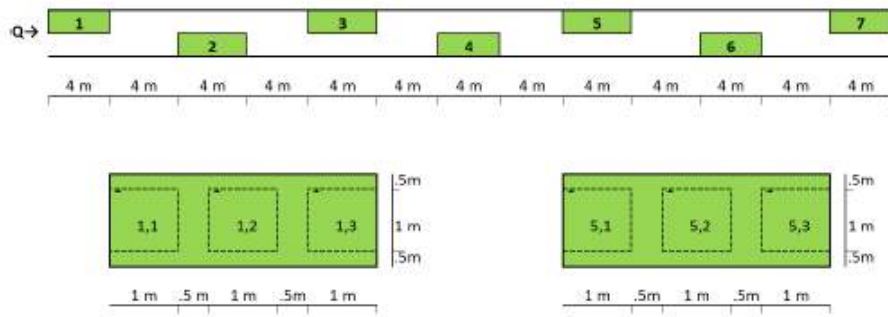
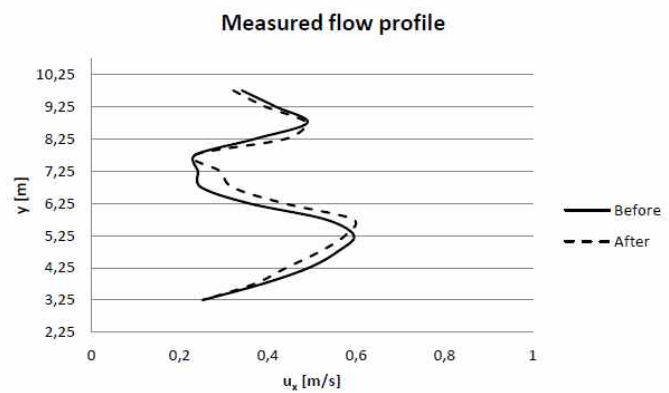


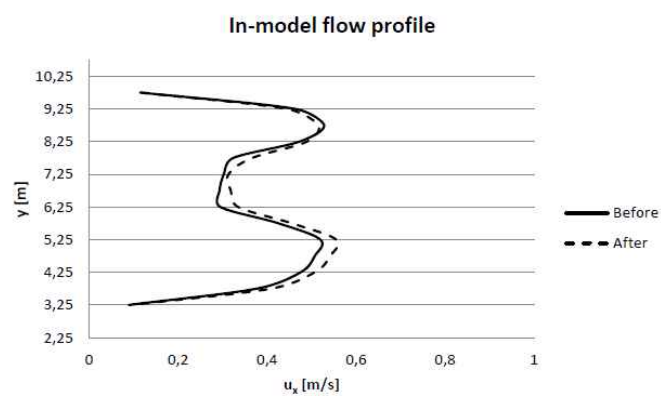
그림 3-25. Representative zone of vegetation patches



그림 3-26. 하부 잡목의 제거 전후 식생 모습



(a)



(b)

그림 3-27. 하부 잡목의 제거 전후 비교: (a)실험측정, (b)수치모의

○ Dong Sop Rhee "Effect on river habitat change by small dam removal considering vegetation"

- 보 규모의 작은 댐 구조물의 제거에 따른 서식처의 영향을 분석한 결과를 제시
- 곡릉보와 고탄보를 대상으로 보의 제거에 따른 식생분포 변화와 이에 따른 서식처 변화를 분석함
- 현장측정 및 자료를 가지고 연구를 하여 식생에 대한 정량적인 자료는 부족하나 보 철거에 따른 경향을 확인할 수 있는 연구
- 식생에 관한 영향은 향후 본 공동연구에서 활용할 가치가 높음

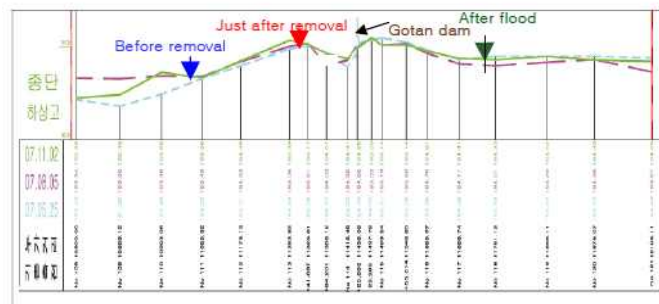
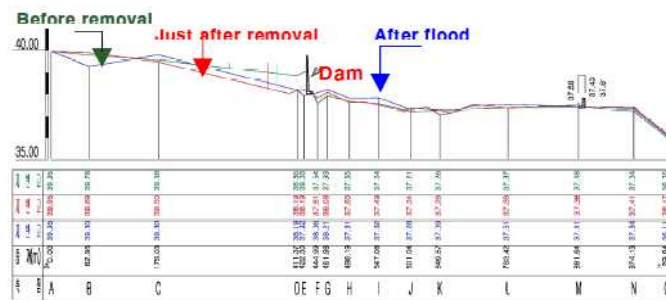


그림 3-28. 곡릉2보(위)와 고탄보(아래)에 따른 하상의 연직방향변화



그림 3-29. 곡릉2보의 보 철거 전후 모습

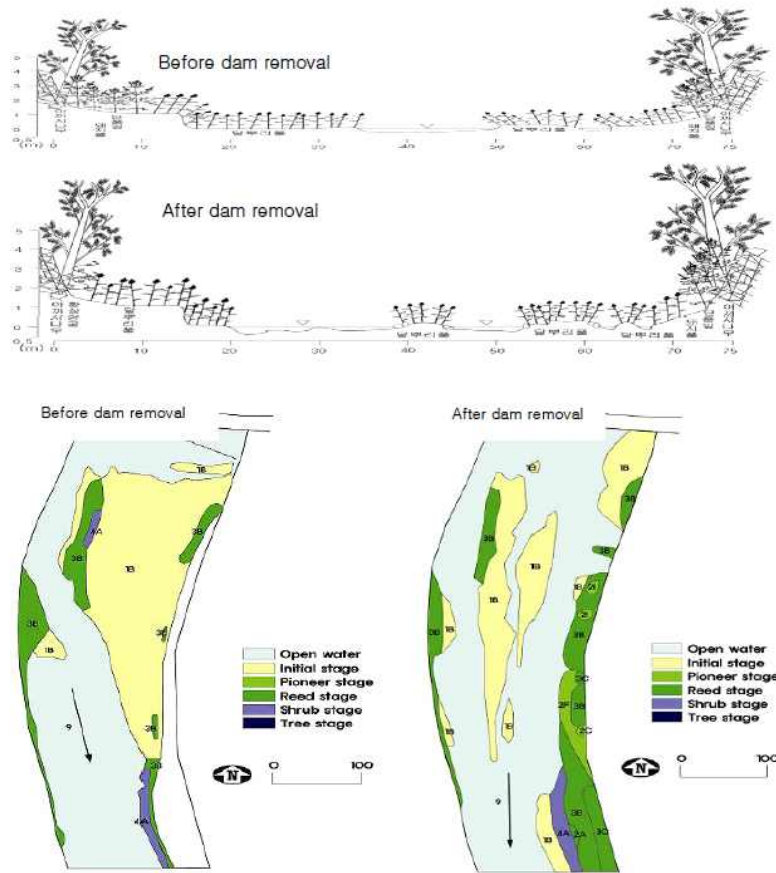


그림 3-30. 보 철거에 따른 식생분포의 변화: 곡릉2보(위)와 고탄보(아래)

○ Un Ji "Roughness coefficient analysis on vegetated flows in the large scale channel"

- 식생실험결과를 토대로 하천의 조도계수를 산정하는 방안 제시
- 조도계수를 산정하는 공식을 분석하고 식생환경에 적합하게 보정하는 방안을 제시
- 식생에 의한 영향은 단순하게 종에 따라 단순하게 구분할 수 없기 때문에 식생의 다양한 인자를 반영해야 함
- 조도계수 산정을 위한 경험식의 적절한 보정에 다양한 문제점이 내재되어 있으며 실험결과를 토대로 이를 발전시켜야 함

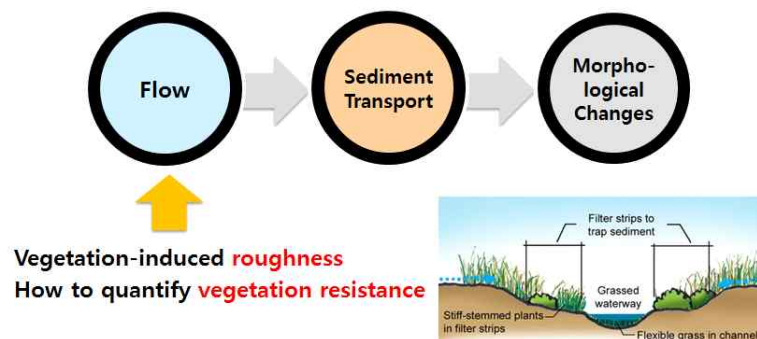


그림 3-31. Roughness 계수 산정을 위한 단계

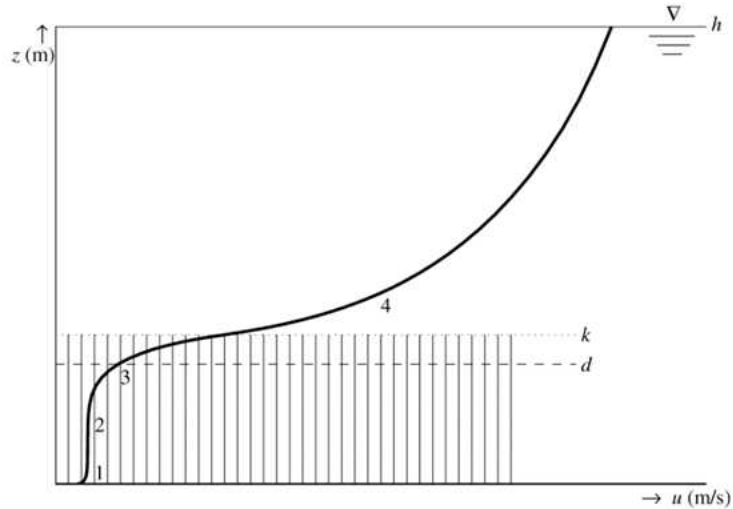


그림 3-31. Baptist et al. (2005)에 제시된 식생고려시 구분해야 할 4구간

○ Koen Berends “River dynamics of a vegetated condition in Delft3D”

- Delft3D를 이용한 식생환경의 하천수리 분석방안 제시
- Delft3D에 있는 vegetation module의 검증이 되지 않아 Delft3D는 식생실험의 결과를 토대로 신뢰도 및 민감도 분석 연구가 필요함
- 식생이 반영된 모델링은 다양한 인자를 고려해야 하므로 실험결과를 면밀히 분석해야함
- 실험결과 분석과 함께 진행되고 있는 모델링 결과를 제시

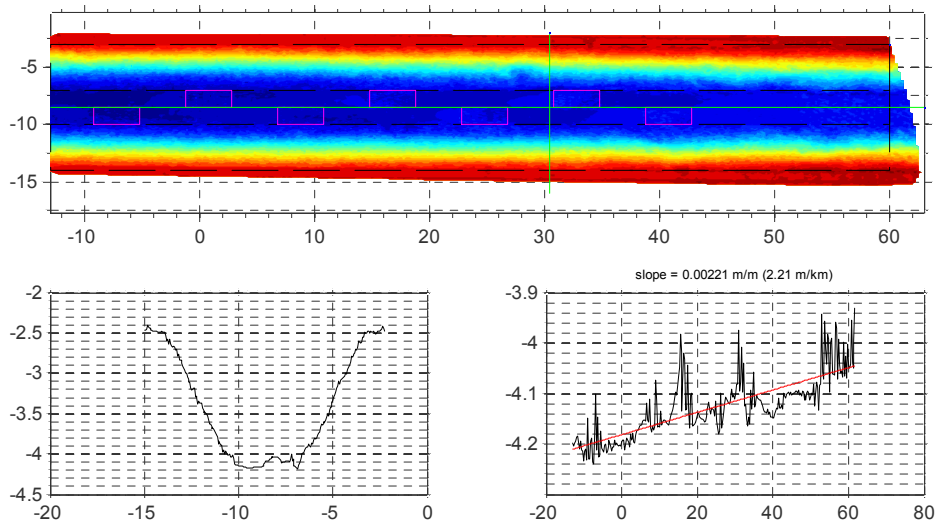


그림 3-32. Linking physical experiment to numerical modeling

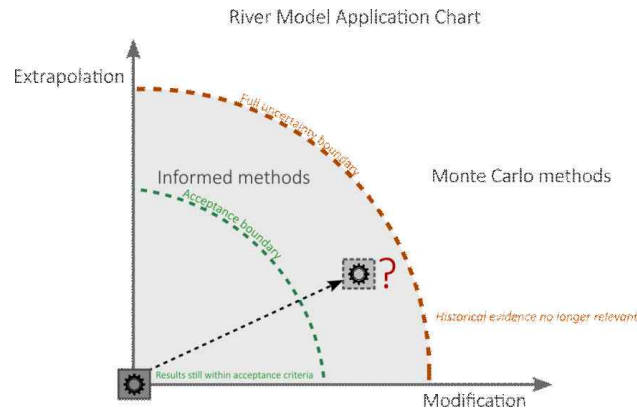


그림 3-33. 하천 모형 적용 방안 모식도

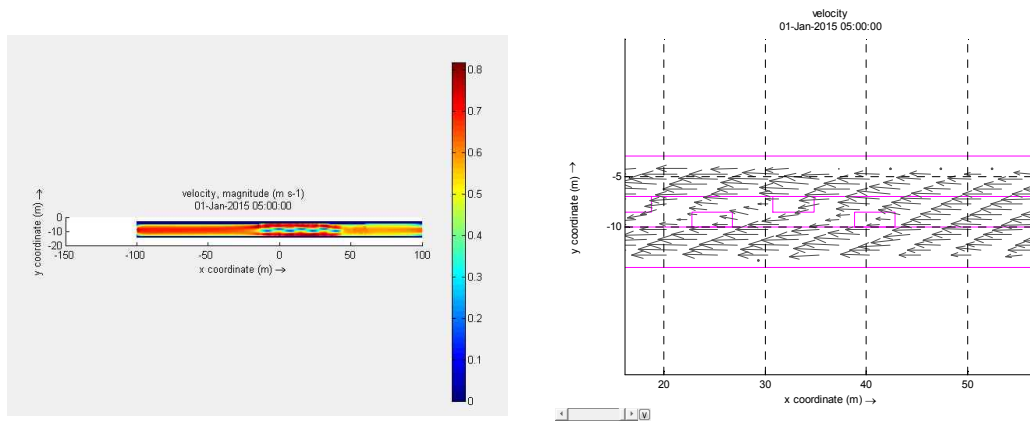


그림 3-34. 수치모의 결과

○ Marloes Witterbrood "Theoretical backgrounds of fluvial hydraulics"

- 공동연구에 참여하는 박사과정 연구원의 연구분야 소개
- 하천 수리학과 식생 연구에 필요한 기본 이론 정리
- 업무 분담 및 관심 연구에 대한 협의

○ Yong-Uk Ryu "Experiment plan of 2016: alternating vegetation patches and new design of cross-sectional patches"

- 2016년도 공동연구계획 및 협의를 위한 실험계획을 제시
- 기존 사류형으로 위치하는 식생패치의 경우 특정 3개 식생패치를 집중하여 측정: 특정인자의 비교가 가능한 패치 선정
- 기존 패치의 비대칭형에 의한 영향을 최소화하기 위하여 대칭형 식생 설치

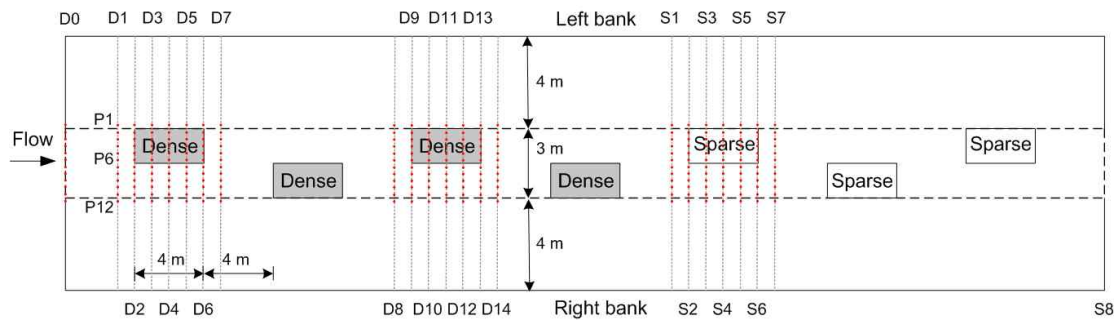


그림 3-34. 비대칭-사류형 식생구간

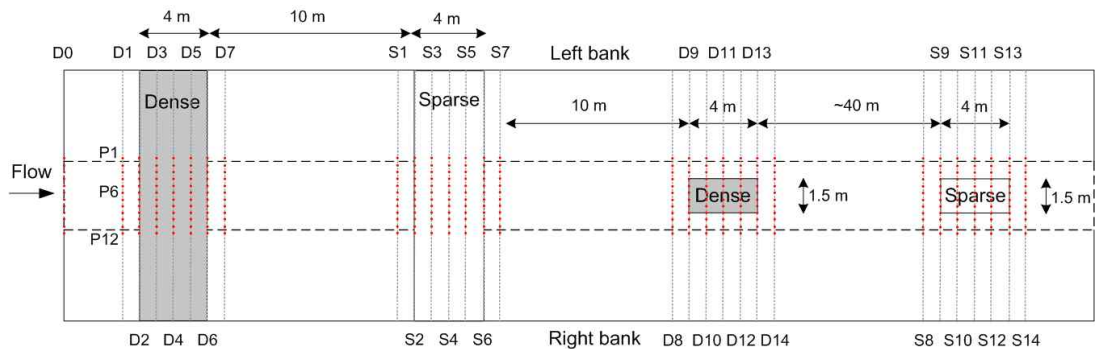


그림 3-35. 대칭형 식생구간

○ Discussion of Session 3

- 하천수리 및 식생간 상호작용에 대한 공동연구에 대한 토론: 식생실험 시 초기 조건에 대한 적합성 및 조건 조절 방법에 대한 검토. 식생 Patch 주변의 물리량 측정에 있어 유속, 수위, 수심의 측정결과에 대한 분석 결과 협의. 측정구간 설정시 식생 주변의 흐름 및 하상변동 현상 설명의 가능여부에 대한 결과 검토
- 2015년도 실험결과에 대한 분석 및 문제점, 그리고 보완 방안 협의: 자연형 실험수로 내 실험측정 장단점 분석. 특히 유속 분포 결과의 경우 식생 내외 구간의 특성에 대한 검토 및 자연현상과 유사성 및 상이성 협의. 실험 결과 해석 시 축척효과 및 자연현상 왜곡에 따른 이상 결과에 대한 가능성 및 보정 방안 협의
- 2015년도 실험 중 미분석 결과에 대한 일정 협의: 실험결과 내 완료 및 미완료 분야 소개 및 향후 분석 일정. 완료 결과에 대한 추후 분석 필요부분 및 방향 협의. 미분석 결과의 진행 시 반영 사항 검토
- 미측정 인자에 대한 보완 방안 및 실험시 문제점 협의: 다양한 제약조건으로 인한 미측정 분야에 대한 중요도 검토 및 미반영에 따른 측정인자 해석에 있어 왜곡 가능성 검토. 미측정 인자의 차원해석시 처리방안 및 독립인자로 해석 가능한지에 대한 검토
- 2016년도 실험계획에 대한 평가 및 참여연구진의 의견 수렴: 식생활착 공동연구의 2015년 실험수행 및 결과를 바탕으로 한 2016년도 실험계획 수립. 기존 측정조건 및 실험결과의 미비한 부분을 보완할 수 있는 조건 보완책 협의

(4) Session 4: TKI Dotter Project

○ Ellis Penning "Introduction of the TKI dotter project"

- TKI Project는 네덜란드 정부에서 발주한 과제로서 Deltares가 주관하는 R&D과제이며 건설연의 상대참여기관으로 등록됨
- 본 연구는 식생을 비롯하여 하천에서 일어나는 현상을 초분광카메라 영상으로 측정하여 색정보를 파장분석하여 단순한 영상 이상의 정보를 추출하여 분석을 하는 방법
- UAV에 설치된 카메라를 이용하여 넓은 측정영역을 손쉽게 측정하고 분석하여 넓은 영역을 효과적으로 빠르게 분석할 수 있는 방안을 도출하고자 하는 연구
- 영상분석과 수리실험 영역을 Deltares와 건설연이 공동으로 연구하고 개발하는 공동 연구로서 향후 적용성이 높은 과제임



그림 3-36. 부분적 식생이 분포하고 있는 수로 정경

	Dji Phantom 3 pro.	Dji Inspire 1	Dji s1000 plus (Camera: Nikon D810)
Drawing			
Weight	1.28 kg	2.935 kg	4.4 kg
Takeoff Weight	-	-	6.0 ~ 11.0 kg
Max. Speed	16 m/s	22 m/s	20 m/s
Max. Flight Time	23 min	18 min	15 min
Operating Temperature Range	0 ~ 40 °C	- 10 ~ 40 °C	0 ~ 40 °C
Transmitting Distance	2000 m	2000 m	2000 m
Camera sensor	Sony EXMOR 1/2.3" Pixels 12.4 M		Nikon FX CMOS 1:1 Pixels 36.35 M
Image Max. Size	4000 x 3000		7360 x 4912
Video Recording Modes	UHD: 4096x2160p 24/25, 3840x2160p 24/25/30 FHD: 1920x1080p 24/25/30/48/50/60 HD: 1280x720p 24/25/30/48/50/60		FHD: 1920x1080p 24/25/30/50/60

그림 3-37. 하천실험센터가 보유하고 있는 UAV(드론)

○ Ge van den Eerwegh "Monitoring of aquatic vegetation for hydraulics and ecological targets by hyperspectral sensor using UAV"

- TKI Project에 기업으로 참여하는 KnowH₂O는 수자원분야 전문 컨설팅 업체로서 솔루션 제공부터 R&D연구 참여까지 다양한 업무를 수행 중
- 담당 CEO인 Dr. van den Eerwegh는 수자원 분야의 다양한 경험을 쌓았고, 정부 발주 연구 경력이 많아 해당 과제에 큰 도움이 되는 전문가
- 기술 개발과 함께 기술상용화 역할을 할 것으로 기대

○ Dong Sop Rhee "Hydraulic resistance of vegetation in open channel flows"

- 개수로 실험실에서 수행된 연구로서 식생을 수로 내 활착시킨 후 흐름 저항을 검토하기 위한 실험을 수행
- 국내 하천에서 자주 볼 수 있는 3개 식물종을 대상으로 실험을 수행하였으며, 수로 내 활착 후 다양한 유량조건을 대상으로 조도계수를 산정하였음
- 식생에 의한 흐름 막음 현상이 발생하면서 바닥 저항을 Manning의 n계수와 VR 사이의 관계를 도출하여 식생에 의한 흐름저항을 상관식으로 도출함



그림 3-38. 다양한 실험을 위한 2개 실외수로

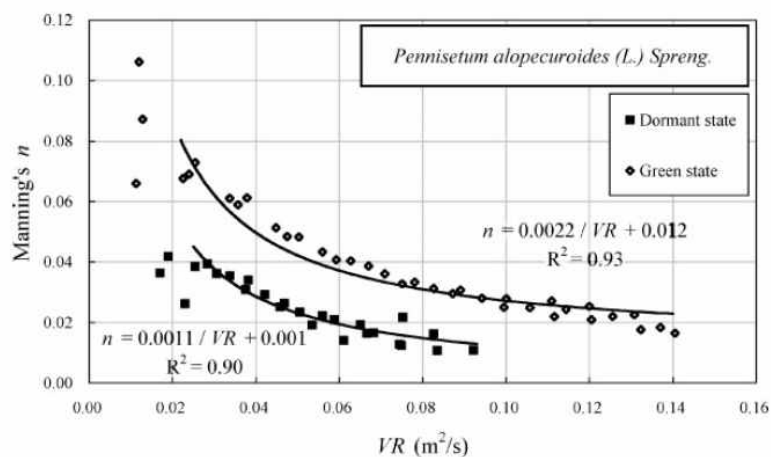


그림 3-39. for *Pennisetum alopecuroides (L.) Spreng*에 의한 Manning계수와 상관관계

○ Rik Noorlandt-Austen "TKI-Dotter experimental settings and software design"

- TKI Project는 식생실험을 초분광카메라로 측정하여 분석해야 하는데 기존 기법과 비교검증을 위해 다양한 실험기법을 동시에 적용할 수 있음
- 실험기법의 경우, 영상 측정, 유속 및 수위 포인트 측정, 식생특성치 측정이 수반되어야 할 것이며, 특히 다양한 외부조건에 영향을 받지 않고 측정이 가능한 것을 검토하기 위해 다양한 유량조건에 대한 실험을 수행함
- 영상측정의 경우, UAV(드론)에 설치된 고정된 상태에서 식생에 대한 일정한 반응을 보이는지에 대한 검토가 필요하며, 이후 영상보정 및 빠른 처리를 위한 소프트웨어 개발 및 개선이 추후적으로 필요함
- 고정식 측정은 Deltares에서 수행하고 UAV측정은 안동 하천실험센터에서 수행하여 최적의 결과를 도출하기 위한 실험계획을 수립해야 함

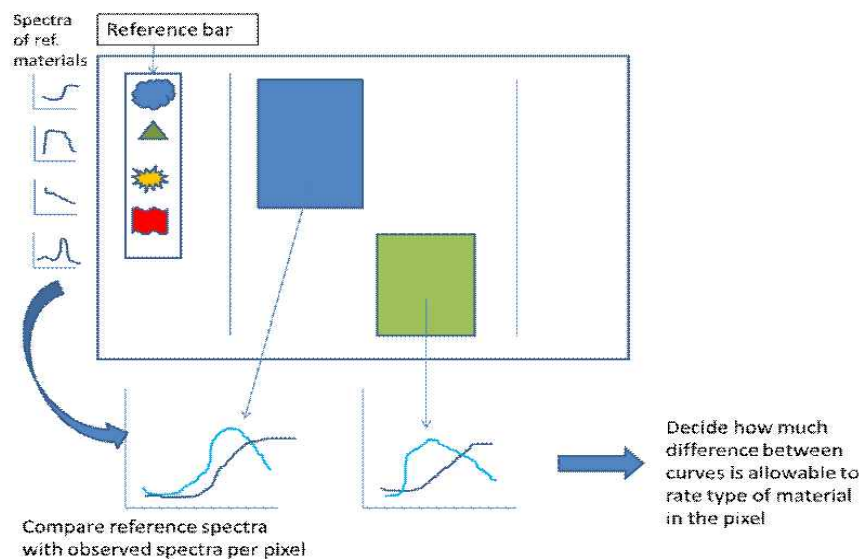


그림 3-40. 초분광 영상의 Image process

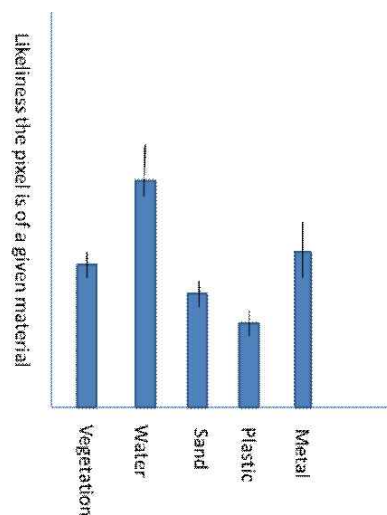


그림 3-41. 물질 별 영상 픽셀 민감도 분석(가상)

○Mike van der Werf "Demonstration of Spectral Image measurements on UAV"

- TKI Project에서 영상과 UAV분야를 맡고 있는 Utrecht 분원의 기술실을 방문하여 UAV가 작동하는 원리와 시연을 소개받음
- 초분광카메라를 이용하여 측정한 영상을 분석하는 방식을 시연하여 작동 원리를 이해하고 향후 사용시 발생할 수 있는 문제점에 대해서 협의
- 하천실험센터로 반입하여 시험시 문제점과 실험조건에 따른 다양한 가능성에 대해서 협의

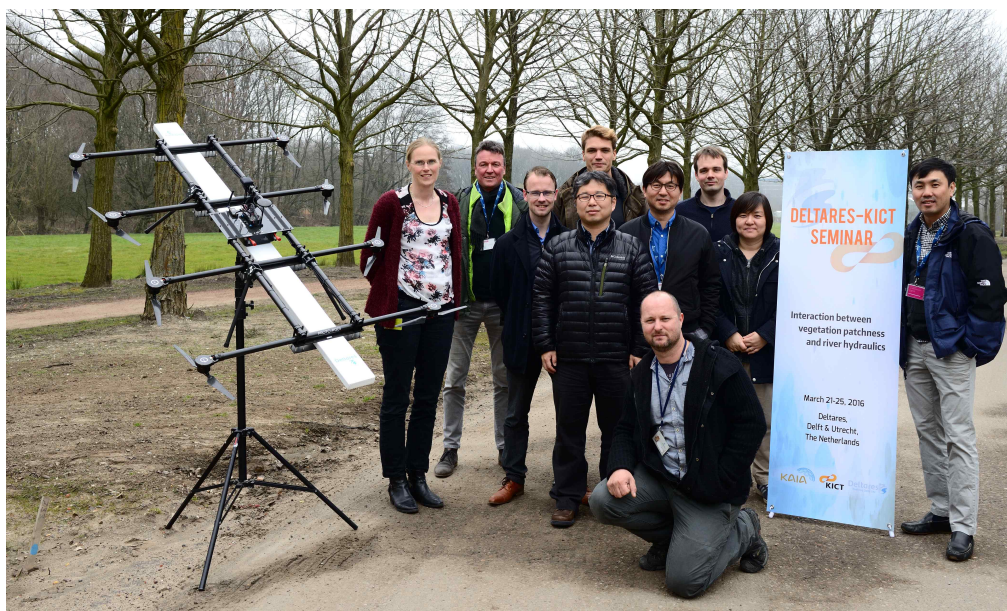


그림 3-42. Deltares Utrecht의 UAV 설치 및 시연

○ Discussion for 2016 plan

- TKI Project와 관련하여 9월 방문예정인 Deltares연구진과의 일정 검토: TKI Project의 방문실험 및 과제워크숍 일정 조정. 공동연구 홍보를 위한 세미나 개최 및 발표내용 방향 협의
- 수리실험을 위한 일정 검토 및 실험조건 협의: 수리실험 시 조건설정 및 하천실험센터의 실험조건 구현 가능성 검토. 식생측정에 있어 수심에 따른 변화 검토를 위한 흐름 조건 설정. 센터 내 펌프 가동 시나리오 및 예측유량, 수위, 수심을 추정하여 실험조건 결정
- 초분광카메라의 설치를 위한 Gimbal 사양 및 처리방안 검토: 초분광카메라 이동 및 설치, 측정대성 협의. 측정결과 최적화를 위한 카메라 설치방안 검토. 센터 내 측정대를 이용한 고정형 측정방안과 센터 내 드론을 활용하기 위한 Gimbal 제작 협의. 센터 내 드론 모형 확인 및 쉬운 설치 방안 협의
- 하천실험센터 보유 UAV(드론) 사양과 카메라의 사양에 따른 설치호환성 검토: 호환성 검토를 위한 드론 활용 방향 협의. 실험조건 및 수로조건을 검토하고 드론 활용 초분광 카메라 측정시 발생 가능 문제점 협의. 예상 결과를 검토하고 해결방안을 개별적으로 도출. 예측 불가능 문제를 최소화하기 위한 가상 문제에 대한 리스트 작성

(5) Session 5: Future Cooperation

○ Ellis Penning "Inviting more groups to the joint project: University of Idaho, Deltares"

- Deltares와 건설연 간의 공동연구주제와 관련하여 참여의사가 있는 미국 Idaho대학 연구진과의 협의를 통해 공동연구 네트워크를 확대하고자 함
- Idaho대학 연구진과 공동으로 추진이 가능한 분야에 대해 사전 협의한 내용을 정리하여 식생실험, TKI Project와 연계하는 방안을 제시
- 특히, Idaho대학에서 희망하는 하천발달과정에 의한 연구는 본 식생연구와 관련이 있어 동시에 진행하기에 적합한 과제로 사료됨

○ Rik Noorlandt-Austen "Plan of experiments and seminar at KICT"

- 하천실험센터에서 수행할 드론을 활용한 초분광카메라 측정실험 계획
- 카메라의 고정식 측정 결과 공유 방안
- 드론 설치시 진동 및 움직임 보정 장치 방안
- GPS 시스템 확인 및 국제적 기준 데이터 처리 방안 협의

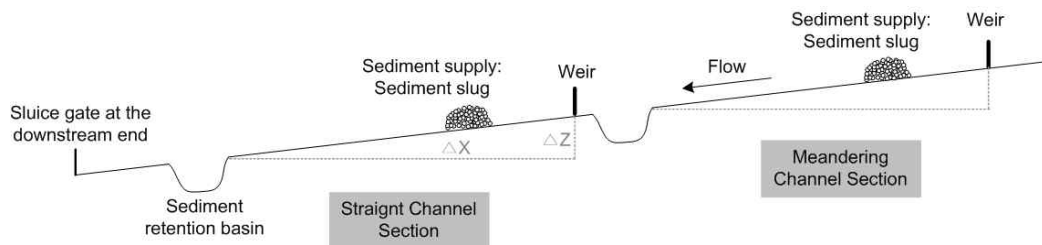


그림 3-43. 이동상실험을 위한 하천실험센터의 실험계획 개요도



그림 3-44. 수로 하상 변동을 위한 실험 대상 수로

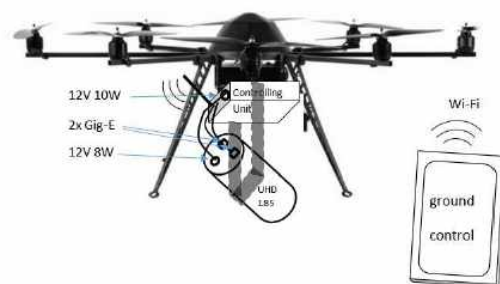


그림 3-45. 초분광 카메라 및 부수장치를 설치한 개요도

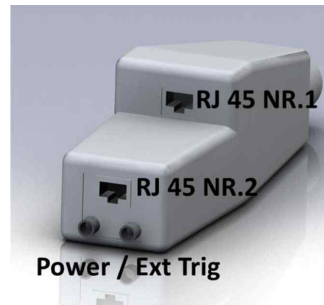


그림 3-46. 초분광 카메라(Spectral imaging camera)

○ Yong-Uk Ryu "Finishing the seminar"

- Deltares-KICT 세미나 마무리 협의
- 향후 Deltares연구진 방문세미나 계획 확인

(6) Irstea와 공동연구 확대추진

○ KICT, Deltares, Irstea 연구대표자 회의

- 유럽 내 Deltares와 함께 하천수리학에 있어 주도적인 연구수행을 하고 있는 프랑스 국립연구소인 Irstea의 공동연구 참여를 위한 각 기관의 연구책임자 회의를 수행
- 건설연의 류용욱, 지운 수석연구원과 Deltares의 Ellis Penning박사, 그리고 Irstea의 Jerome Le Coz박사가 참석하여 현재 추진 중인 건설연과 Deltares간 식생활착연구, 그리고 Idaho대학과 진행 중인 하천발달연구로의 확대 계획을 소개하고 Irstea측 연구의지 및 가능성 협의
- 2015년 건설연의 Irstea 방문시 협의사항에 대한 검토와 Irstea측 연구참여를 위한 연구과제 도출 가능성 협의: 연구주제 부합성 및 연구합류 시점 예측
- Irstea측 연구참여 의지를 확인하고 식생연구와 하천발달연구를 구분하여 참여희망 하며 2016년 7월 예정인 하천실험센터 방문시 추후 세부계획을 협의하고자 함

나. 행사 2 - Deltares, KICT, U. of Idaho Seminar: Invitational seminar of University of Idaho for the joint project between KICT and Deltares

(1) Session 1: Introduction of Large View River Design

○ Yong-Uk Ryu "International joint project with Deltares and University of Idaho"

- Deltares-KICT간 공동연구 개요 및 Idaho대학과 공동연구 방안 소개
- Idaho대학 연구진과 연구주제 및 세부사항 검토
- 미국 NSF 재단 연구제안을 목표로 한 연구주제 소개

○ Andrew Tranmer "Optimality Theory to Guide Functional River Design"

- 기능성 하천 설계를 위한 최적 이론 정리
- 이상기후를 비롯한 인위적인 요소로 인해 하천 환경의 급격한 변화
- 하천변화의 정확한 예측을 위한 Unknown인자에 대한 규명 필요
- 하천실험센터를 활용한 실규모실험 수행 및 결과 가정

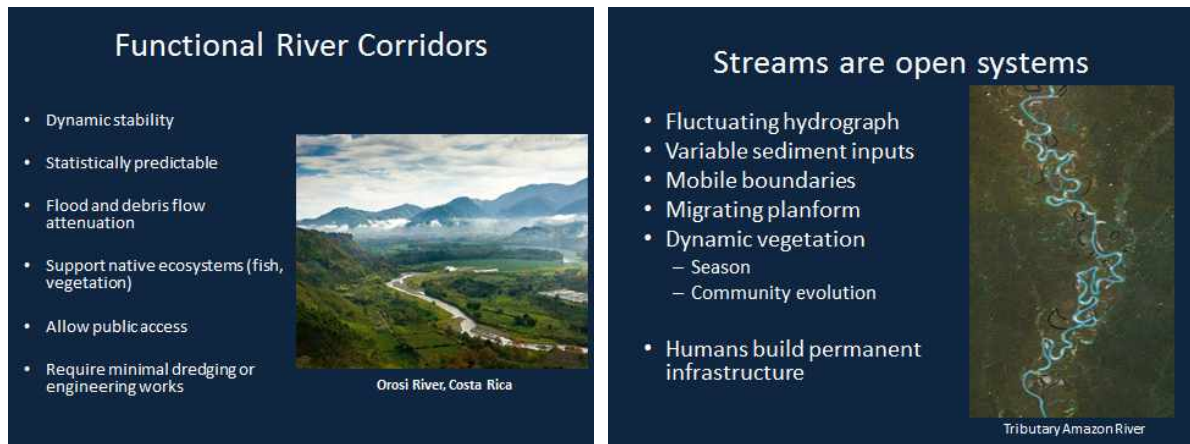


그림 3-47. 하천설계에 따른 문제 나열 및 영향 인자 소개

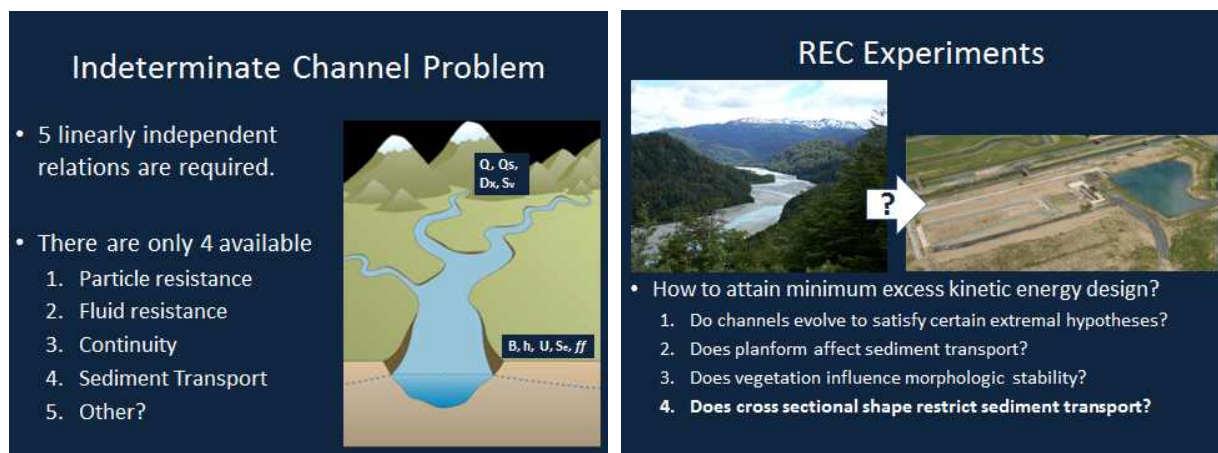


그림 3-48. 하천 변화 예측에 있어 문제와 하천실험센터를 활용한 해결책 제시 방안

○Elwyn Yager "Improving predictions of hazards and sediment transport in headwater streams"

- 상류하천에서 굽은 입자의 이동에 따른 예측 능력 부족
- 굽은 입자의 이동은 큰 운동량 및 충격량으로 인해 대형 재해 유발성 높음
- 입자 이동에 대한 실험과 수치모의를 수행
- 난류 등 흐름과 관련한 인자와 입자간 상호작용 등 다양한 인자가 내포되어 정확한 예측은 어려움

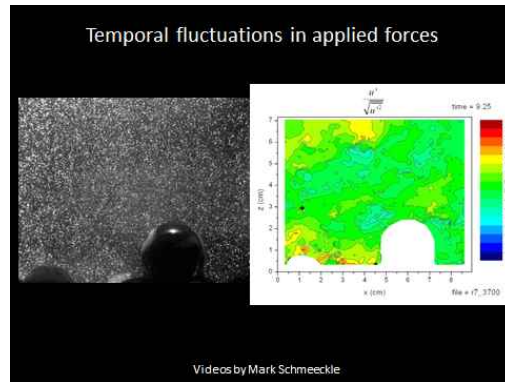
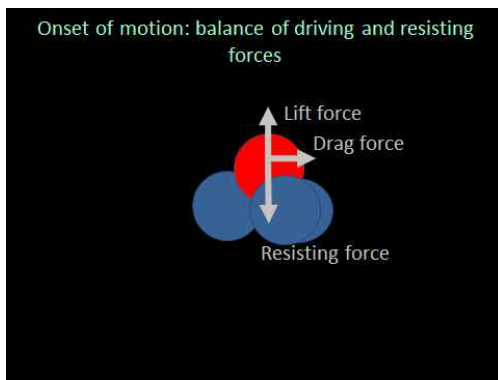


그림 3-49. 굵은 입자의 하천에서 입자 이동 분석

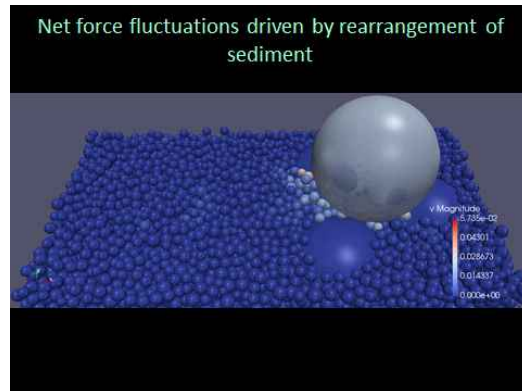
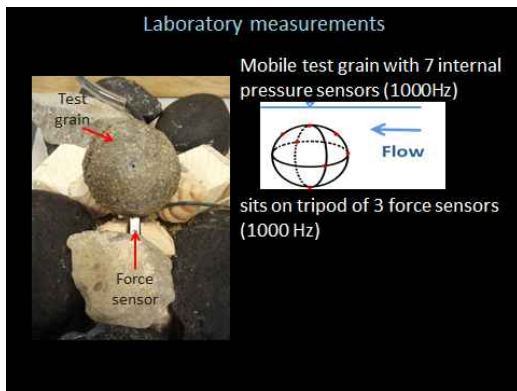


그림 3-50. 굵은 입자 이동 실험 및 수치모의

(2) Session 2: Experimental Approaches for River Evolution Mechanism

○ Andrew Tranmer "Braided channel and river evolution"

- 망상하천과 하천발달 과정을 위한 연구를 소개
- 망상하천은 사행하천이 형성되기 이전의 높은 상류 및 초기 단계로서 하천의 이해에 있어서는 중요한 연구임
- 망상하천은 하천발달과 더불어 현재 이상기후가 심해짐에 따라 토석류를 유발하는 위험성이 큰 하천형태도 나타나고 있음

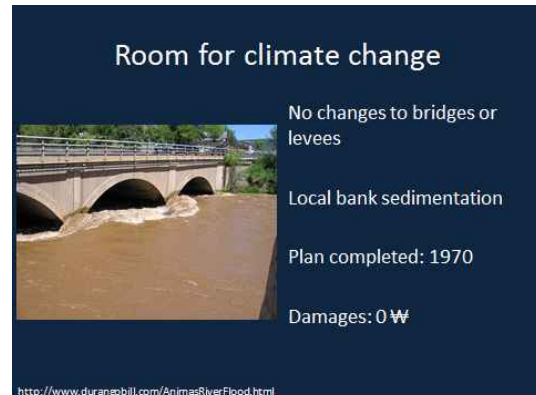


그림 3-51. 하천 급류에 따른 경제적 손실 추정

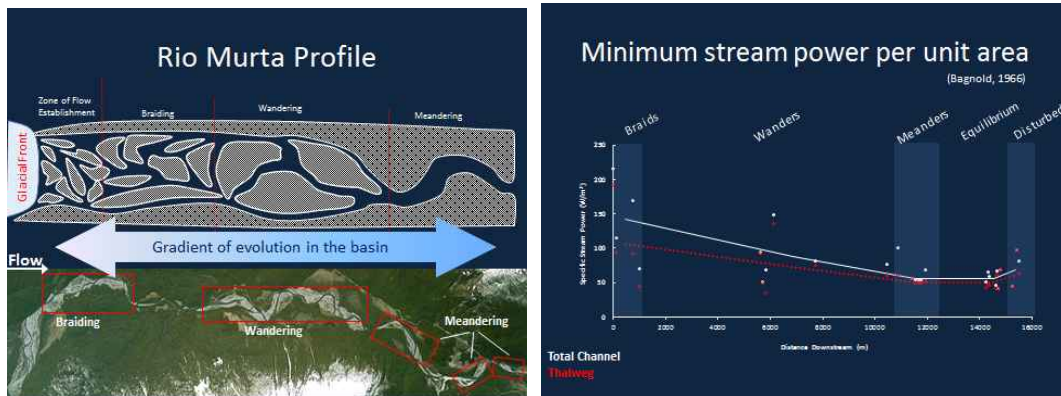


그림 3-52. 하천발달에 따른 일반적 하상형상과 단위면적당 유발력 비교

○ Elwyn Yager "The geomorphic significance of vegetation"

- Dr. Yager가 수행한 식생실험을 소개
- 소규모 실험규모로서 실제 식생이 아닌 대략적인 축척을 축소하여 만든 모형 혹은 가상의 식생을 사용하여 실험을 수행
- 소규모이고 실제 식생이 아니기 때문에 직접적인 해석은 무리가 있으나 PIV기법을 이용하여 흐름 특성을 잘 제시하여 이해에 큰 도움을 줌
- 유속측정과 부유사 및 하상변동을 측정하여 중규모 혹은 대규모 실험시 선행학습해야 할 연구가치를 가지고 있음

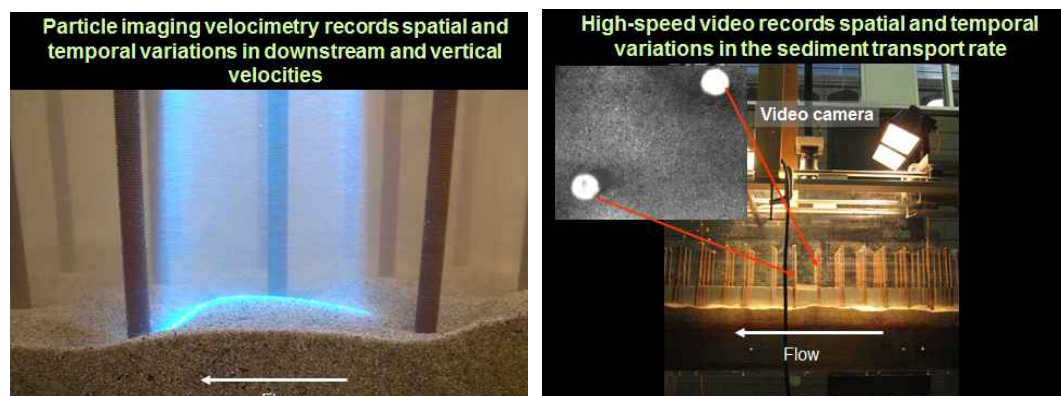


그림 3-53. 식생을 묘사한 실린더형 구조물 주변의 흐름 특성 및 유사이동 측정



그림 3-54. 막대기형 식생모형과 인공수초 모형의 현상비교

○ Un Ji "Numerical simulations of morphological changes over vegetated flows"

- 식생실험조건을 대상으로 한 하상변동에 대한 수치연구 소개
- 식생환경에 따른 조도계수 산정하는 방안을 소개하고 장단점을 제시
- 수치모의와 수리실험 결과와의 비교가 향후 수반되어 수치모형의 정도를 향상시킬 것으로 기대

○ Yong-Uk Ryu "Experiment plan over the meandering channel of the River Experiment Center"

- 하천실험센터의 이동상 실험 수로와 하천발달 실험을 위한 장단점 협의
- 하천실험센터의 주요 3개 수로를 소개하고 상류지역 토석류와 연관된 강한 흐름 실험에 대한 가능성 협의
- 자연상태의 망상하천의 이용방안과 하천실험센터의 자연적 특성과 함께 정도높은 측정이 가능한 시스템에 대한 소개



그림 3-55. Idaho대학 연구진 하천실험센터 수로 방문

○ Discussion and Tele-meeting with Deltares

- 기존 공동연구 주제인 식생활착영향 연구의 하천발달 연구와의 연계성 및 기존 연구결과를 활용하고 보완할 수 있는 계획 수립: 하천식생영향 연구의 진행상황 및 기존 계획 공유. 하천발달 연구의 연구계획에 대한 논의를 통한 이해확대. 식생연구와 하천발달 연구를 공통적으로 발전시키기 위한 실험계획 수립. 향후 추진 NSF제안연

구의 제안서 작성방안 협의

- Idaho대학 연구계획 집중 논의: 연구진의 방문에 있어 사전 Deltares와 협의를 진행하였으며, 상호간 인지가 부족한 영역에 대한 소개 및 협의를 진행. 하천발단 연구의 연구목표 및 세부계획 협의. 세 기관의 분담업무 및 설정. 하천실험센터 수로활용방안과 참여연구진의 교류방안 협의
- Deltares 화상미팅: 동일한 시점에 방문이 어려웠던 Deltares연구진과 하천실험센터에서 선수행한 세미나 및 현장방문 후 공동연구과제에 대한 향상 및 보완점에 대한 협의를 화상미팅으로 진행. 세 기관 분담에 업무에 대한 Deltares측 의견 수렴. Deltares의 추가의견 반영. 연구계획 중 주요부분인 수리실험에 있어 Deltares측 참여방안과 가능성 검토. 9월로 예정된 Deltares연구진 방문에 추가적으로 수행할 실험사항에 대한 협의를 진행하였으며, 2017년도 Idaho대학 연구진의 연구계획을 협의. 2016년도 Idaho대학 측 공동연구 참여자의 Tonina교수의 하천실험센터 방문을 추진하고 이를 활용하는 방안 협의. NSF제안연구의 연구계획 검토 및 제안서 작성방향 최종검토. 세계적 추세인 Matching Fund성 연구과제를 효율적인 공동연구로 활용하는 방안 협의

2. 행사 수행 성과

가. 하천-식생분야 연구결과 도출

- 본 연구에서 지원된 국제세미나를 위해 수리실험 및 결과를 도출하고 이를 선진기관과 공동으로 분석하여 식생이 존재하는 하천 내 흐름 및 하상변동에 대한 분석 능력을 습득
- 식생분야는 생태학적 관점과 환경학적 관점이 섞여 있어 단순한 수리적 특성만을 가지고 분석을 하는데 한계가 있으며, 실험규모 혹은 현장 측정의 특성을 가지고 있기 때문에 단기간에 고급 연구력을 쌓기에는 어려우므로 경험이 많은 연구진과의 공동연구가 필수적이었으며, 본 연구를 통해 난관을 극복하는 계기가 되었음
- 하천 식생분야는 장기적으로 하천 관리에 있어 이슈가 될 수 있는 주제이며 선진국에서는 이에 대한 관심이 큰 편으로서 금번 공동연구를 통해 향후 기술을 선점할 수 있음
- 실험규모 실험은 비용 및 노동이 많이 들어가는 연구로서 실험 설계 및 계획이 매우 중요하는데 관련 분야 경험자와의 공동연구는 이러한 경험을 습득하는데 좋은 기회이며, 특히 공학자가 위주인 하천수리분야에서 생태학적 관점을 단기일내에 실패 없이 경험할 수 있는 좋은 기회였음
- ADCP와 ADV는 현장 및 실험장에서 많이 쓰이는 장치이지만 그 특성이 다르고 특히 식생과 같이 물체가 이동하며 흐름에 영향을 주는 경우는 그 적용성에 있어 누구도 장담하기 어렵기 때문에 본 연구를 통해 특장점을 이해할 수 있었음

- 식생사주 실험을 위한 설계시 실험규모실험으로 수리, 식생, 하상변동, 서식처 분석이 가능한 실험계획을 수립하였고 향후 수치모의에 검증자료로 활용도가 높을 것으로 기대



그림 3-56. 식생실험 고려인자 정리

- 식생구간이 존재하는 자연상태 수로 내 흐름 특성을 ADCP를 이용하여 효율적으로 측정하였으며 흐름 특성이 분석이 가능하였음

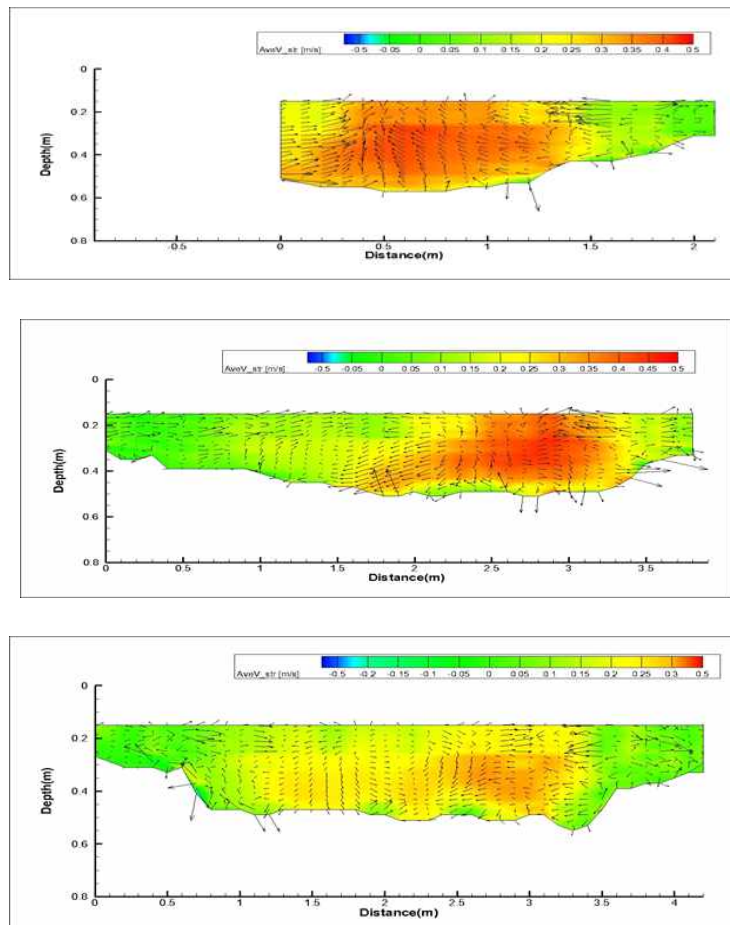


그림 3-56. ADCP를 이용한 하천단면 흐름특성 분석

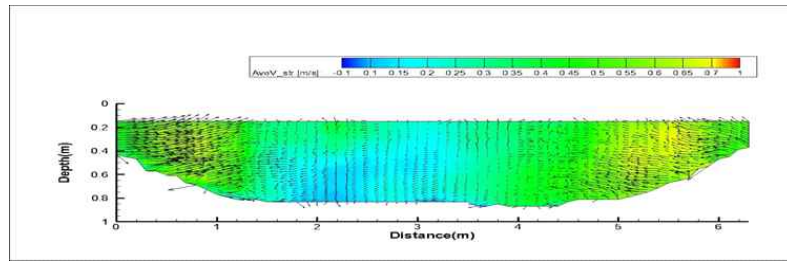


그림 3-56. ADCP를 이용한 하천단면 흐름특성 분석 (연속)

- ADCP와 ADV 측정결과를 비교하여 ADCP의 식생주변에서 적용가능한 구간과 오차가 큰 구간을 구분할 수 있었으며 이를 토대로 향후 적절한 측정기법을 적용가능하여 실험 실패 확률을 크게 저감할 수 있음

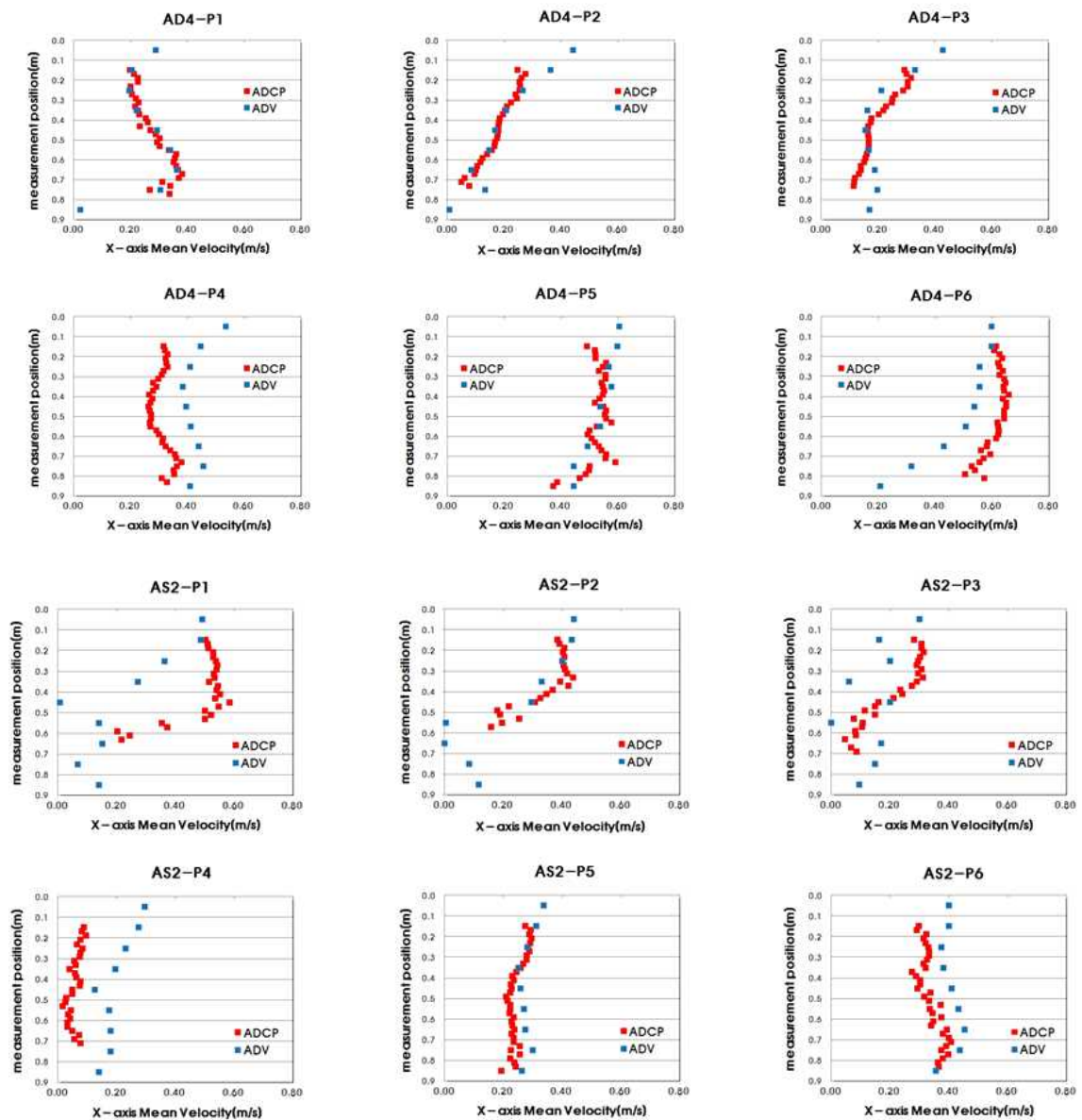


그림 3-57. ADV 및 ADCP 측정 유속파일 비교

- 3D 스캐너 및 3D 영상분석기법 등 영상기법을 적용한 하상 측정기법을 적용하고 오차를 분석하여 향후 오차분석을 기반으로 한 측정영역 및 기대정도 대비 최적 측정기법을 적용할 수 있을 것으로 기대

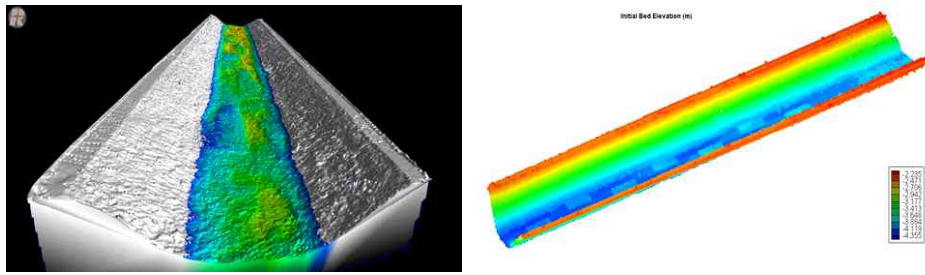


그림 3-58. 3D 스캐너 측정 결과 및 하상 기준면 대비 하상고 자료 전환

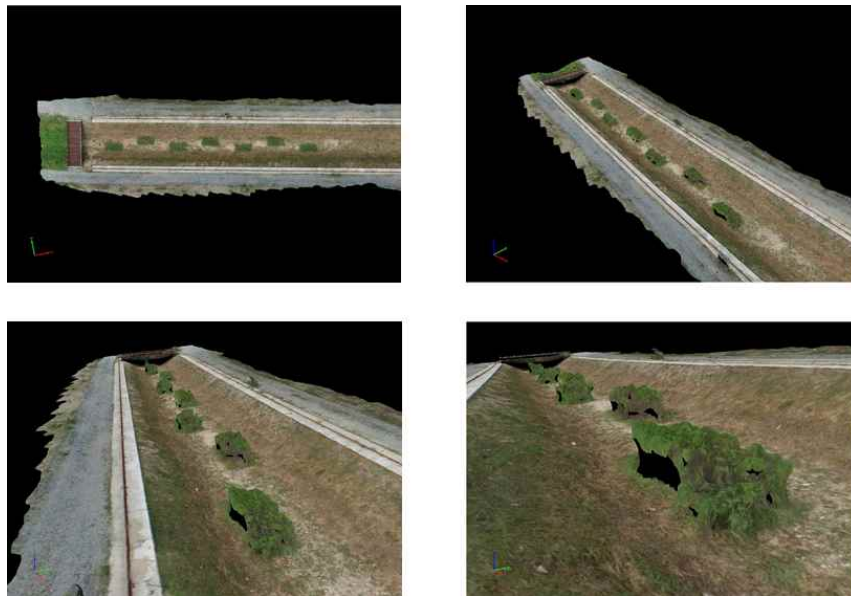


그림 3-59. 3D 영상분석 기법을 적용한 하상고 측정기법

나. 전문가 자문을 통한 Deltares 수치모형 적용 및 공동연구 확대

- Delft3D는 Deltares에서 개발한 3차원 수치모형으로서 하천 및 해안 분야의 다양한 수리현상을 모의할 수 있는데, 본 공동연구에서 수행하는 식생연구는 향후 Delft3D의 식생모듈의 검증용으로 사용될 예정이며, 수치모형에 대한 참여를 위한 건설연 연구진을 비롯한 국내연구진의 수치모형 이해 및 사용 확대가 요구됨
- 현재 국내에서 Delft3D를 이용하고 있는 고려대 손상영 교수와 한밭대 정태화 교수의 Delft3D 수치모의 사례를 기반으로 한 수치모형 이용방안과 장단점을 검토하여 모형 개발에 적극참여를 하고자 함: Delft3D는 이용성에 있어 다소 어려움은 있으나 다양한 수리인자를 반영할 수 있기 때문에 개발에 참여할 경우 활용도가 높은 수치모형을 고가의 사용료를 지불하지 않고 사용할 수 있을 것으로 기대
- Deltares는 Geoscience분야가 하나의 중요한 분야를 차지하고 있으며, Deltares와의 공동연구에 있어 Geoscience분야 이해는 장기적으로 연구효과를 증대할 수 있는 방안으

로 판단됨. Deltares와 지반분야 공동연구 경험이 있는 Colorado대학 박사영 연구원의 Deltares와의 공동연구 사례를 바탕으로 연구조직 및 수행 특성을 이해

- Idaho대학의 Yager교수와 Tranmer교수의 초청세미나를 통해 공동연구를 확대하고 유럽 및 미주의 연구기관을 포함하는 연구네트워크를 구축하고자 함

다. 국제 공동네트워크 강화를 통한 공동연구 확대 및 도출

- 본 연구에서 지원된 국제세미나 교류를 통해 국내 연구진의 기술력을 홍보할 수 있었고 더불어 선진연구기관에서 보유한 기술을 공유할 수 있는 기회를 마련함
- 본 연구의 상대연구기관인 Deltares는 세계적인 물연구 기관으로서 네덜란드의 척박한 하천 및 연안 환경을 극복하기 위한 오랜 연구기간을 통해 선진 기술을 보유하고 있는데, 금번의 세미나를 기회로 공동연구를 강화하고 서로를 인정받는 무형의 성과를 이루어 냄
- Deltares에서 추진하는 정부 R&D과제 제안에 상대기관으로 제의를 받았는데 이는 국내 연구력과 연구시설을 인정하는 실질적인 반응으로 사료됨
- Deltares연구진은 네덜란드 Deltares에서 진행한 금번 세미나에 반응으로 올해 9월에 국내를 방문하여 건설연과 하천실험센터에서 세미나 및 수리실험을 공동으로 수행할 예정이며 9월의 행사는 기존의 선진연구진 초청이 아닌 Deltares가 경비를 부담하는 자발적 방문행사임
- 유럽국가는 유럽연합 아래서 자국 내 연구기관 간 혹은 유럽연합 소속 국가 간 공동연구가 활발히 이루지는 연구 성향이 있는데 금번 공동연구를 통해 네덜란드 뿐 아니라 여타 유럽국가와 공동연구 구성체에 참여할 가능성이 높아짐
- 이러한 결과의 일환으로 Deltares와 공동연구를 수행하고 있는 미국의 Idaho대학의 연구진이 공동연구 참여를 희망하여 본 연구과제 기간 중 건설연 하천실험센터를 방문하여 연구주제를 소개하고 공동연구를 제안하였음
- 현재 미국 Idaho대학 연구진은 미국 NSF재단에 건설연, Deltares와의 공동연구를 제안하고자 준비 중에 있음
- 참여기관 간 지속적 연구 교류프로그램 추진
 - Deltares의 KICT 방문워크숍 및 교류세미나
 - 일정 및 장소: 2016. 09. 21 ~ 30(9박 10일), 한국건설기술연구원 및 하천실험센터
 - 방문자: Ellis Penning, Mike van der Werf, Rik Noorlandt, Koen Berends, Bas van Vossen, Ge van den Eerwegh
 - 주요내용: TKI Project 실험 및 협의를 위한 워크숍 및 공동연구 및 협력관계 홍보를 위한 교류세미나

- KICT연구진의 Deltares 방문연구
 - 일정 및 장소: 2016. 10. 01 ~ 11. 30, Deltares Delft
 - 방문자: 정상화 수석연구원
 - 주요내용: Deltares내 2개월간 방문프로그램에 참여하여 공동연구진행 및 Software days 참석
- Idaho대학 연구진 KICT 방문세미나
 - 일정 및 장소: 2016. 10. 25 ~ 30(4박 5일), 한국건설기술연구원 및 하천실험센터
 - 방문자: Daniele Tonina 교수
 - 주요내용: 미국 NSF재단 제안연구 계획 및 실험시설 검토
- Deltares-KICT 공동연구 및 Irstea 참여 확대를 위한 방문세미나
 - 일정 및 장소: 2016. 10. 30 ~ 11.4 (6박 7일), Deltares(네덜란드) & Irstea(프랑스)
 - 방문자: 류용욱 수석연구원, 지운 수석연구원
 - 주요내용: Deltares 공동연구 결과공유를 위한 교류세미나 및 Irstea의 공동연구 참여유도를 위한 방문세미나

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

○ 본 연구를 통해 수행성과를 통해 목표 달성도는 다음과 같음

구 분	수행내용	달성도(%)
국제협력세미나 개최	- Deltares-KICT 국제세미나 개최 - U of Idaho-KICT 국제세미나 개최	100
국제협력 지속 및 확대	- 네덜란드 국가R&D TKI Project 참여 - 2017년도 공동연구계획 수립 - U of Idaho와 NSF 과제 제안	100
하천-식생 해결기술 습득 및 확보	- 식생을 고려한 하천흐름 및 하상변동 측정 및 분석기 법 확보 - Delft3D 모델의 식생모듈 개발 및 검증에 위한 공동연 구 지속수행	100

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적 측면

- 하천 식생 연구의 연구기획 및 설계 기술의 확보
 - 실험규모실용 규모의 식생실험 경험 확보
 - 식생 대응 기술 확보 및 국내 연구 선도 지위 선점
 - 기술 첨단화 및 선진화 기대
 - 공학적 이학적 해석능력 확대로 실험결과를 실제 현상에 적용할 수 있는 직관 확보
 - 이동상 실험을 동시에 수행하여 동일 기술 수준 증가
 - Deltares의 선진기술 공유를 통해 단기간 내 선진 기술 습득
 - Deltares의 3D 모형인 Delft3D의 식생모듈 개발 참여
- 식생분야 기술 선진화 및 경쟁력 향상
 - 기존 국내 식생분야 연구는 생태학적 관점과 수리학적 관점의 적절한 반영이 되지 못해 얻어진 결과를 실제 문제를 해결하는데 적용하는데 있어 어려움이 있었으나 실험규모의 실험을 수행함으로써 축적에 의한 문제를 해결할 수 있었음
 - 현장 경험과 모델링 기술에서 앞서 있는 선진기관과 공동연구를 통해 많은 비용 및 시간이 요구되는 경험을 단기간 내에 습득이 가능하고 특히 외국기관에서 보유하지 못하고 있는 자연형 실험실 규모 실험시설을 활용하는 능력이 향상되어 향후 공동연구시 주도적 위치를 차지할 수 있음

- Deltares와 같은 선진 기관과 일회성 연구가 아닌 지속적인 연구 네트워크를 구축하게 되어 하천식생 분야의 장기적인 공동연구 파트너로서 관계가 지속될 것이며, 특히 다른 유럽기관과의 공동연구 기회가 확대되어 우리의 지원이 지속될 경우 세계적인 기술력을 확보할 수 있을 것으로 기대
- 식생분야에 관한 연구는 단순한 생태학적 지식이 요구되는 것이 아니라 하천수리 및 환경을 포함하는 포괄적인 연구를 의미하는 것으로서 장기적으로 하천의 종합적 관리에 있어 선진국의 기술 노하우를 취득할 수 있을 것으로 기대
- 선진국가의 R&D제안에 공동연구진으로 참여하는 기회가 확대되어 장기적으로 연구력을 홍보할 수 있고 선두적 연구에 참여함으로써 세계적 기술 추세에 소외되지 않고 따라갈 수 있음

나. 사회·경제적 측면

○ 하천 식생 연구의 기술 선 확보를 통한 사회적 이슈 대응

- 국내 하천은 대형 하천횡단구조물로 인해 하천식생이 정도가 계속 증가하는 추세이며 향후 하천관리에 있어서 중요한 이슈로 부각될 수 있는데 이 경우 기술을 선점하고 있어 빠른 대응이 가능
- 자연 친화적 기술이 일환으로 하천관리에 있어 생태 및 환경을 고려한 하천 대응 기술로 확대 발전 가능
- 현재 해외 사례의 경우 식생은 생태 뿐만 아니라 홍수 관리 및 환경 문제와 연관하여 이슈가 되고 있는 바, 국내가 아닌 해외 대응기술에도 선 참여가 가능할 수 있음
- 영상기술을 이용한 식생상태 측정기술은 저비용 고효율의 하천관리 기술로 활용이 가능하기 때문에 하천 관리 비용을 저감할 수 있음
- 하천 식생 관리는 생태공간 확보와 홍수관리 문제가 대립적으로 작용할 수 있으나 이에 대한 최적 답안을 제시함으로써 사회적 갈등을 최소화하고 다양한 니드를 만족할 수 있는 기술로 발전시킬 수 있음

○ 하천 식생 연구로 비용 투자 저감 및 해외 연구사업 참여

- 하천 기술을 포함한 SOC 기술은 문제 발생 후 대응시 기술개발에 따른 시간 투입 및 단기 대응 요구에 의해 많은 비용이 들어가는 경우가 많은데, 본 연구의 경우 점진적으로 증가하고 있는 식생 하천 환경에 대응하는 기술을 미리 확보함으로써 향후 발생 가능한 문제를 대비하여 경제적 투입 규모를 저감할 수 있음
- 하천은 국민의 생활 및 안전한 식수 환경을 위해 상시 관리 및 대응해야 하는 대상으로서 종합적인 대응이 요구되는데, 하천 식생 연구는 하천 관련 모든 분야를 포함해야 하는 융합적 연구형태를 나타내므로 이러한 연구 경험은 향후 종합적 관리에 있어서 보이지 않는 경제적 절감을 유도할 수 있음
- 국내와 다르게 외국은 하천 식생 관리에 있어 많은 관심이 많은 바, 기술력 확보를 통해 국내가 아닌 해외 연구에 먼저 참여할 수 있으며 연구비를 획득할 수 있음

제5장. 행사 성과의 활용 계획

- 기후 및 환경에 의한 하천 식생의 변화를 해석하는 데 필수적인 유량과 하천 흐름의 변화, 계측기술 개발은 국가 수자원 정책 수립의 기반기술로 활용이 가능함
- 본 연구의 결과로 도출 예상되는 하천 식생 변화 연구는 하천 환경 변화에 대한 대응 방법을 마련하고 하천복원을 위한 식생연구의 기초 기술로 적극적인 활용이 가능함
- 국제기술협력을 통한 소프트웨어 개발로 연구의 국제화 및 상업화도 가능함
- 단기적으로 행사에 구축된 연구 네트워크를 통해 향후 수년간 선진기관과 공동연구를 참여할 것으로 예상되며 이와 동시에 국내외 대형과제를 수주 혹은 참여할 것으로 기대
- 최근 미국을 비롯한 전 세계적으로 하천환경 및 식생에 대한 연구는 주요 연구주제이므로 본 연구를 통해 국제적 수준(SCI(E)급)의 저널에 다수 논문 발간이 가능함
- 본 행사를 통해 향후 하천환경 및 식생 분야에 대한 국제공동 네트워크 시스템과 협력 체계를 구축하고 이는 국내 연구진의 주도적인 역할 수행을 위한 기반이 될 것으로 판단함
- 실규모 규모이 식생실험 자료를 구축함으로써 연구력을 홍보할 수 있고 다양한 연구참여에 활용할 수 있음
- 연구참여를 통한 연구력 홍보는 하천식생분야 하나만 아니라 장기적으로 하천 및 수자원분야의 기술력을 알리는 좋은 방안으로서 선진 기관과 어깨를 나란히 할 수 있음

제6장. 행사 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 하천 재해 관리 및 체험 프로그램

- Deltares는 정부 및 하천관리자를 상대로 가상 시뮬레이션 프로그램 iD-Lab을 개발하여 하천관리를 용이하게 하고 즉각적인 결정지원을 가능하게 하고 또한 훈련 프로그램을 포함하여 효율적인 하천관리를 가능하게 함





iD-Lab

Interactive data research laboratory

During crisis and disaster situations, important and quick decisions must be made that can depend on access to large amounts of data. At times like this, access to all the relevant data and tailored visualisations is crucial. The Deltares interactive data research laboratory (iD-Lab) combines and displays all the important data for a specific project at a specific moment. This new facility will be available to policymakers, researchers and experts in the field of water, subsurface and infrastructure. A facility of this kind is very much needed in order to establish the platform required for knowledge development and knowledge sharing.

The iD-Lab can be used interactively in different ways: (1) real-time response and disaster management (2) training, exercises and education (3) collaborative research (4) visualisation and demonstration. All these functions can also be combined. Universities, research institutes, consultants and governments in particular will benefit from the iD-Lab, allowing them the capability to make fast and effective decisions based on reliable results.

1 Real-time response and disaster management
The iD-Lab can be used for emergency advice during international and national disasters. It draws on operational research in the field of flood forecasting (from global to regional scales) for rivers, estuaries and coasts, with models being set up and communicated quickly during a major event. The facility has access to global flood and drought models. Operational systems can be tested live.

2 Training & education
The facility can also be used for hands-on training in the use of specific software (hydrological or geotechnical), and the development and interpretation of models. Examples include the use of Delft-FEWS, Delft3D or DAM for specific situations.



Overview of countries world-wide where Delft-FEWS is used as a platform for operational forecasting

그림 6-1. Deltares의 iD-Lab 소개 자료



Overview of the iD-Lab functions

The layout of the iD-Lab is shown in the below. It includes an operations room for disaster management activities which also acts as a space for collaborative research and design sessions.



The iD-Lab can host disaster management operations, training, exercises, and collaborative research activities

3 Collaborative research

By bringing together different experts (from different disciplines) the facility will drive creative innovations. The iD Lab can host sessions about interactive modelling development, workshops, design sessions and stakeholder meetings. The iD-Lab will provide major benefits for consortiums working on European Research Programmes, where the main goals include knowledge development and knowledge sharing.

4 Visualisation and demonstration

The iD-Lab is a place where technical capabilities can be visualised and demonstrated. It displays state-of-the-art tools, models and software being used around the globe in the fields of forecasting, information management, data science and decision support (examples being Delft-FEWS, Delft3D, SOBEK, XBeach, 3Di, DAM Live, iMOD, 3D Flexible Mesh and Delta Shell).

There is also a separate area in the iD-Lab for demonstrations and collaborative sessions standing around the touch table and touch screen facilities.



Visualisation and demonstration tools

More information

For more information about the use of this facility, you can contact Annette Zijderfeld, tel. +31(0)88335 8259 or send an e-mail to: id-lab@deltares.nl.

2. 수자원 종합적 관리 시스템

- Deltares는 수문 예보 및 정보 시스템을 구축하여 수자원을 종합적으로 관리하고 One-tool 방식으로 하천관리까지 가능한 시스템 구축을 Delft-FEWS를 기반으로 발전시키고 있음. 예측 정도는 나라 기상조건에 따라 차이가 있으나 수문 및 하천관리 기술을 하나의 Platform을 기반으로 통합하려는 시스템으로서 장점을 가지고 있음



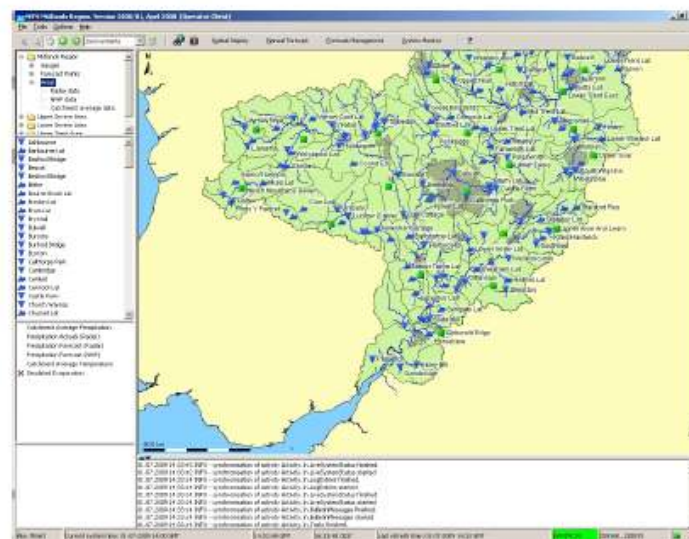
Software

Delft-FEWS

The development of hydrological forecasting and warning systems is an essential element in regional and national strategies. Recent developments in numerical weather prediction, radar data and on-line meteorological and hydrological data collection have resulted in an increasing focus on data import and data processing. The challenges for developing a modern hydrological forecasting and warning system are found in the integration of large data sets, specialised modules to process the data, and open interfaces to allow easy integration of existing modelling capacities.

In response to these challenges, Delft-FEWS provides a state of the art hydrological forecast and warning system. The system is a sophisticated collection of modules designed for building a hydrological forecasting system customised to the specific requirements of an individual organisation.

The philosophy of the system is to provide an open shell for managing the data handling and forecasting process. This shell incorporates a comprehensive library of general data handling utilities, allowing a wide range of external forecasting models to be integrated in the system through a published open interface.



Keywords: Delft-FEWS, Forecasting

그림 6-2. Deltares의 Delft-FEWS 소개 자료

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 해당과제는 일반등급에 속하는 연구과제임

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 행사 수행 과정에서의 안전 조치 이행 실적

- 공동연구 추진기관인 Deltares의 safety guideline에 근거하여 행사시 안전장비 및 대피로 인지 교육 완료
- 한국건설기술연구원 하천실험센터는 내부 안전규정에 근거하여 행사 및 연구활동시 안전지침에 따라 업무를 진행하고 있음

제10장. 행사에 대한 주관연구기관 및 상대국 참여기관 의견서

○ 한국건설기술연구원

Review for Deltares-KICT Seminar

1. Overall review for the joint workshop

- 한국건설기술연구원 및 델타레스의 수공학관련 실무진 다수가 세미나에 참여하여 성공적으로 세미나를 마무리하였고, 본 세미나를 통하여 최근 시도되고 있는 각종 첨단장비를 활용한 하천 환경 모니터링 및 최신 조사분석 기술과 하천 제외지에 정착된 식생영향 등에 대한 연구결과를 공유 및 교류하였으며 향후 미래 하천의 유지관리를 위하여 지속적 연구교류의 상호협력과 나아갈 방향성을 제안하였음
- 본 세미나를 기반으로 양국의 수공학관련 연구교류가 더욱 확대될 것으로 기대되며 실규모 실험이 가능한 한국건설기술연구원의 하천실험센터를 공동활용하여 세계적 수준의 연구결과를 도출할 수 있을 것으로 기대됨

2. Achievements of the workshop

- 한국건설기술연구원과 델타레스의 하천모니터링 분야와 하천유지관리를 위한 최신 연구결과를 교류하였으며 향후 국제공동연구의 토대를 마련하였음
- 하천모니터링을 위한 첨단 장비(Hyperspectral sensor, UAV)와 활용기술들을 소개하였으며 각 분야에서 실제 적용 가능성 및 활용성 여부를 검토하였고 공동활용방안을 모색하였음
- 한국건설기술연구원 하천실험센터에서 수행하고 있는 실규모 식생모형실험에 대한 연구결과를 공유함으로써 식생에 의해서 실제하천에서 발생하는 흐름저항과 하상변화에 대한 실험자료를 제시하였으며 기존 모델링 해석에서 가지고 있는 취약점을 상호 보완할 수 있었음

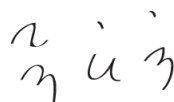
3. Plan for continuous collaboration

- 한국건설기술연구원의 실규모실험센터(하천실험센터)와 실험실증기술과 델타레스의 수치모의기술은 상호 반드시 필요하고 충족되어야하는 연구분야이기 때문에 향후의 교류연구는 더욱 활발하게 수행될 것으로 기대됨
- 향후 첨단 장비를 활용한 하천모니터링 기술개발분야는 초분광센서(Hyperspectral sensor)와 드론(UAV)를 활용하여 광범위한 하천환경에서 지형, 식생, 하상, 유속, 수위 등의 다양한 데이터를 취득할 수 있도록 지속적인 공동연구를 수행할 예정
- 향후 본 과제와 같은 국제협력과제를 수행하면서 델타레스 뿐만아니라 국제적 연구기관과의 교류를 지속적으로 확대해 나갈 계획

Organization: 한국건설기술연구원

Name: 류 용 옥

Signature:



Date: 2016.09.09

- Deltares

Review for Deltares-KICT Seminar

1. Overall review for the joint seminar

- The seminar was very beneficial for mutual learning, technical demonstration and development of joint research. Through the seminar, we shared information on environmental monitoring and advanced equipment related river vegetation. This seminar is a good chance to know each organization more and to carry out better collaborations.
- Deltares members are very happy to use the facility of the REC and hope to expand this cooperation using it and believe to obtain more valuable outcomes from cooperation.

2. Achievements of the workshop

- The scientific seminar with presentations on theory, methods and experimental results from the REC facility was fruitful for sharing knowledge and information.
- Especially, discussion on UAV and spectral imaging techniques are very helpful for our joint project up to TKI project. Coming experiments in the REC for interaction between vegetation and flows and spectral imaging technique will give us better results.

3. Plan for continuous collaboration

- The role of each organization comprehend the lack of technologies of each side. It will be best that Deltares deals with numerical modeling with Delft3D and ecological approaches while KICT REC focuses on large scale experiments with the unique facility.
- Through the TKI dotter project, we also can lead the techniques of UAV and spectral imaging techniques.
- Continue collaboration between KICT and Deltares will look for more chances to expand our network to other organizations in the world.

Organization: Deltares

Name: G.Blom

Signature:



Date: 2016.09.06

제11장. 기타 사항

- 당초 연구비 예산은 연구활동비 23,500,000원, 연구과제추진비 8,500,000원으로 총액 32,000,000원 이었으나, 실제 연구비를 집행한 결과, 연구활동비 26,146,259원, 연구과제추진비 5,797,282원으로 총 31,943,541원을 사용하고 56,459원의 잔액이 발생하였음
- 연구활동비와 연구과제추진비의 세부항목별 사용액과 당초계획대비 증감비율은 다음과 같음

항목		세부항목	당초계획		최종예산사용		당초계획대비 증감비율(%)
			금액(원)	비율(%)	금액(원)	비율(%)	
직 접 비	연구활동비	국외여비	19,600,000	61.25	18,651,745	58.39	-4.84
		인쇄비	2,400,000	7.50	5,780,000	18.09	140.83
		제세공과금 및 수수료	0	0.00	2,440	0.01	0.01
		전문가활용비	1,500,000	4.69	1,712,074	5.36	14.14
	연구과제 추진비	사무용품비	1,080,000	3.38	297,700	0.93	-72.44
		국내여비	5,920,000	18.50	3,535,092	11.07	-40.29
		회의비	1,500,000	4.69	1,964,490	6.15	30.97
		소계	32,000,000	100.00	31,943,541	100	

- 각 세부 항목별 사용내역은 다음과 같음

1) 연구활동비

- 국외여비: 류용욱, 강준구, 이동섭, 정상화, 지운 박사의 국제공동연구 세미나 및 연구협의를 위한 네덜란드/프랑스의 델프트(Delft), 위트레흐트(Utrecht), 티엘(Tiel), 파리(Paris) 방문
- 인쇄비: 국제세미나 홍보물 디자인 및 연구성과 레포트 제작, 교류 보고서 인쇄
- 전문가활용: 워크샵 발표자 자문활용 및 Delft3D 연구사례기반 및 토질분석 연구 사례 관련 자문
- 제세공과금 및 수수료: 우편발송료 사용

2) 연구과제추진비

- 사무용품비: 세미나 개최에 필요한 사무용품 구입
- 국내여비: 워크샵 관련 실험 및 워크샵 출장비 사용
- 회의비: 하천 식생활착으로 인한 흐름영향 변화 및 하상변화 분석 및 해결을 위한 회의

- 연구비 예산 중 가장 많은 비용을 차지하고 있는 국외여비는 연구활동비의 일환으로 당초 예상했던 비용보다 적게 산정되어 차액을 연구성과 레포트 제작 및 교류 보고서 인쇄에 사용함

- 또한, 세미나 개최시 구입하려고 했던 사무용품비의 일부를 제세공과금 및 수수료의 일환으로 우편요금으로 사용함

제12장. 참고 문헌

- Baptist, M.J. (2005). Modelling Floodplains Biogeomorphology. Ph.D thesis, Delft Univ. of Tech., Faculty of Civil Engineering and Geoscience, Section Hydraulic Engineering, Delft, ISBN 90-407-2582-9.
- Baptist, M.J., Babovic. W.L., Rodríguez, V., Uthurburu, J., Keijzer, M., Uittenbogaard, R.E., Mynett, A. and Verwey, A. (2007). On inducing equations for vegetation resistance, Journal of Hydraulic Research, Taylor&Francis, 45(4), 435-450.
- Baptist, M.J., Haasnoot, M., Cornelissen, P., Icke, J., van der Wedden, G., Vriend, H. J. de. and Gugić, G. (2006). Flood detention, nature development and water quality along the lowland river Sava, Croatia, Hydrobiologia, Springer, 565(1), 243 - 257.
- Baptist, M.J., Penning, W.E., Duel, H. , Smits, A.J.M., Geerling, G.W., Van Der Lee, G.E.M. and Van Alphen, J. S. L. (2004). Assessment of the effects of cyclic floodplain rejuvenation on flood levels and biodiversity along the Rhine River, River Research and Applications, 20(3), 285 - 297.
- Bennett, S. J., Wu, W., Alonso, C.V., and Wang, S.S.Y. (2008). Modeling fluvial response to in-stream woody vegetation: Implications for stream corridor restoration. Earth Surface Processes and Landforms, 33(6), 890 - 909.
- Bennett, S.J., Pirim, T., and Barkdoll, B.D. (2002). Using simulated emergent vegetation to alter stream flow direction within a straight experimental channel. Geomorphology, 44, 115-126.
- Bouma, T.J., van Duren, L.A., Temmerman, S., Claverie, T., Blanco-Garcia, A., Ysebaeri, T., and Herman, P.M.J. (2007). Spatial flow and sedimentation patterns within patches of epibenthic structures: Combining field, flume and modeling experiments. Continental Shelf Research 27, 1020 - 1045.
- Camporeale, C, Perucca, E., Ridolfi, L., and Gurnell, A.M. (2013). Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. American Geophysical Union, Review of Geophysics 51.
- Crosato, A. & Saleh, M.S. (2011). Numerical study on the effects of floodplain vegetation on river planform style. Earth Surface Processes and Landforms 36, 711-720.
- Defina, A., and Bixio, A.C. (2005). Mean flow and turbulence in vegetated open channel flow. Water Resources Research. 41, W07006.

- Deltares R&D Highlights 2015
- Edmaier, K., Crouzy, B. and Perona, P. (2015). Experimental characterization of vegetation uprooting by flow, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120(9), 1812 - 1824.
- Gurnell, A.M. (2014). "Plants as river system engineers." *Earth Surface Processes and Landforms* 39: 4-25.
- Gurnell, A.M., Corenblit, D., García de Jalón, D., González del Tánago, M., Grabowski, R. C., O'Hare, M. T. and Szewczyk, M. (2015). A conceptual model of vegetation - hydrogeomorphology interactions within river corridors, *River Research and Applications*, 32, 142 - 163.
- Jang, C.L. and Shimizu, Y. (2007). Vegetation effects on the morphological behavior of alluvial channels. *Journal of Hydraulic Research* 45(6), 763-772.
- Jang, E.K., Un J., Kim, K.H. and Yeo, W.K. (2016). "Stable Channel Design with Different Sediment Transport Equations and Geomorphologic Constraints in Cheongmi Stream." *KSCE Journal of Civil Engineering* 20(5), 2041-2049
- Jung, S.H. and Choi, S.U. (2015). "Prediction of composite suitability index for physical habitats simulations using the ANFIS method." *Applied Soft Computing*, 34, 502-512.
- Kang, H.S. (2010). Numerical Investigations of Vorticity Generation in Fully Vegetated Open-Channel Flows, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 30(2B), 2010.3, 179-189.
- Kang, H.S. and Choi, S.U. (2006). Impact of Drag-Related Weighting Coefficients in Vegetated Open-Channel Flows, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 26(5B), 2006.9, 529-537 .
- Kang, H.S. and Choi, S.U. (2007). Simulations of Flow and Sediment Transport in the Open Channel with Submerged Vegetation Using Depth-Averaged Model, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 27(6B), 621-629.
- Kim, T.B., Bae, H.D. and Choi, S.U. (2010). Development and Application of Depth-integrated 2-D Numerical Model for the Simulation of Hydraulic Characteristics in Vegetated Open-Channels, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 30(6B), 607-615.
- Kwon, K.K., Choi, J.W. and Yoon, S.B. (2008). Measurement of the Equivalent Resistance Coefficient for Multi-piers in Open Channel, *Journal of The Korean*

Society of Civil Engineers, 28(6B), 635–642.

- Kwon, K.W. and Choi, S.U. (2000). Analysis of Vegetated Open-Channel Flows Using the $k\epsilon$ turbulence Model, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 20(1B), 11–21.
- Lee, D.S., Lee, D.H. and Kim, M.H. (2012). Roughness Coefficients Evaluation of the Korean Riparian Vegetation, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 32(6B), 345–354.
- Lee, J.S. and Pierre Y. Julien. (2012). Resistance Factors and Relationships for Measurements in Fluvial Rivers, Journal of The Korea Contents Association, 12(7), 445–452.
- Lee, J.S., PierreY. Julien., Kim, J.H. and Lee, T.W. (2012). Derivation of Roughness Coefficient Relationships Using Field Data in Vegetated Rivers, Journal of Korea Water Resources Association, 45(2), 137–149.
- López, F. and García. M.H. (2001). Mean flow and turbulence structure of open-channel flow through non-emergent vegetation, Journal of Hydraulic Engineering, 127(5), 392–402.
- Morvan, H., Wright, N., Tang, X., and Crossley, A. (2008). The concept of roughness in fluvial hydraulics and its formulation in 1D, 2D and 3D numerical simulation models. Journal of Hydraulic Research, 46(2).
- Murray, A.B., and Paola, C. (2003). Modelling the effect of vegetation on channel pattern in bedload rivers. Earth Surface Processes and Landforms, 28, 131–143.
- Naot, D., Nezu, I. and Nakagawa, H. (1996). Hydrodynamic behavior of partly vegetated open channels, Journal of Hydraulic Engineering, 122(11), 623–633.
- Nearly, V.S., Constantinescu, S.G., Benett, S.J., Diplas, P. (2012). “Effects of vegetation on turbulence, sediment transport, and stream morphology” Journal of Hydraulic Engineering, 138(9), 765–776.
- Nepf, H., Zong, L. and Rominger, J. (2010). “Flow, deposition, and erosion near finite patches of vegetation”, River Flow, 33–40.
- Nepf, H.M., and Vivoni, E.R. (2000) “Flow structure in depth-limited, vegetated flow” J. Geophys. Res., 105(28), 547–557.
- Paul, M. Henry P.Y.T., and Thomas, R.E., (2013). Geometrical and mechanical properties of four species of northern European brown macroalgae. Coastal Engineering 84, 73–80.

- Rhee, D.S., Woo, H.S., Kwon, B.A. and Ahn, H.K. (2008). Hydraulic Resistance Of Some Selected Vegetation In Open Channel Flows, *River Research And Applications*, 24, 673–687.
- Rominger, J. T., Lightbody, A. F., and Nepf, H. M. 2010. Effects of added vegetation on sand bar stability and stream hydrodynamics. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(12), 994 - 1002.
- Song, J.W. and Park, S.S. (2004). Roughness Characteristics and Velocity Profile in Vegetated and Nonvegetated Channels, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 24(6B), 545–552.
- Straatsma, M., van der Perk, M., Schipper, A.M., de Nooij, R.J.W., Leuven, R.S.E.W., Huthoff, F. and Middelkoop, H. (2013). Uncertainty in hydromorphological and ecological modelling of lowland river floodplains from land cover classification errors. *Environmental Modelling & Software* 42, 17–29.
- Thomas, R.E., Johnson, M.F., Frostick, L.E. et al (2014). Physical modelling of water, fauna and flora: knowledge gaps, avenues for future research and infrastructural needs. *Journal of hydraulic research*, 52(3), 311–325.
- Thorne, C.R. (1990). Effects of vegetation on riverbank erosion and stability in *Vegetation and erosion*. edited by Thornes, J.B., 125–144, John Wiley, New York.
- Tsujimoto, T. (1999). Fluvial processes in streams with vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 37(6), 789–803.
- Van Dijk, W.M., Teske, R., van de Lageweg, W.I., and Kleinhans, M.G. (2013). Effects of vegetation distribution on experimental river channel dynamics. *WRR* 49, 7558–7574.
- Van Oorschot, M., Kleinhans, M., Geerling, G., and Middelkoop, H. (2015). Distinct patterns of interaction between vegetation and morphodynamics. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI: 10.1002/esp.3864
- Vargas-Luna A., A., Crosato, A., and Uijttewaai, W.S.J. (2015). Effects of vegetation on flow and sediment transport: comparative analyses and validation of predicting models. *Earth Surface Processes and Landforms* 40, 157–176.
- Visser, F., Buis, K. and Verschoren, V. (2016). “Mapping of submerged aquatic vegetation in rivers from very high-resolution image data, using object-based image analysis combined with expert knowledge”, *Hydrobiologia*, 1 - 19.
- Warmink, J.J., van der Klis, H., Booij, M.J., and Hulscher, S.J.M.H. (2011).

Identification and Quantification of Uncertainties in a Hydrodynamic River model Using Expert Opinions. *Water Resources Management*, 25(2), 601–622.

- Yang, K., Cao, S. and Knight, D. (2007). "Flow Patterns in Compound Channels with Vegetated Floodplains", *Journal of Hydraulic Engineering*, 133,(2), 148–159.
- Yang, W.J. and Choi, S.U. (2007). Transverse Flow Characteristics of Open-channel Flows over Submerged Flexible Vegetation, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 27(6B), 641–650.
- Yeo, H.K., Park, M.H., Kang, J.K. and Kim, T.W. (2004). Experimental Study of Flow Resistance and Flow Characteristics over Flexible Vegetated Open Channel, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 4(6), 61–74.
- Yoon, T.H., Shin, Y.J. and Lee, J.S. (2002). Flow Variation in Open Channel Due to Presence of Vegetation Zone, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 143–149.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

